

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки**

**Кафедра біоінформатики**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Світлана Горобець

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-науковою програмою «Біотехнології»**

**зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»**

**на тему: «Вплив наночастинок магнетиту на розвиток і морфологію  
томату звичайного *Solanum lycopersicum*»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи БМ-81мн

Теліженко Валерія Сергіївна \_\_\_\_\_

Керівник:

д.ф.-м.н., професор Горобець Оксана Юріївна \_\_\_\_\_

Консультант з експериментальної частини:

зав. каф. біоінформатики, д.т.н., професор

Горобець Світлана Василівна \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап проекту:

к.е.н., доцент Ткаченко Тетяна Петрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

зав. лаб. нанокр. структ. Інст. магн. НАНУ і МОНУ

канд. ф.-м. наук, Дереча Дмитро Олександрович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет біотехнології і біотехніки**  
**Кафедра біоінформатики**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-наукова програма «Біотехнологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Світлана ГОРОБЕЦЬ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

**Теліженко Валерії Сергіївні**

1. Тема дисертації «Вплив наночастинок магнетиту на розвиток і морфологію томату звичайного *Solanum lycopersicum*», науковий керівник дисертації Горобець Оксана Юріївна, професор, д.ф-м.н. , затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження – геноми і протеоми магнітотаксисних бактерій (МТБ) *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 і томату звичайного; рослини *S. lycopersicum* та окремі їх частини: насіння, корені, зелена біомаса, плоди.
4. Предмет дослідження – генетичний механізм процесу біомінералізації БМН у рослин томату звичайного; процеси накопичення і розподілу екзогенних наночастинок магнетиту у *Solanum lycopersicum* та їх вплив на розвиток і урожайність рослин.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: встановити можливість синтезу БМН за допомогою методів порівняльної геноміки; оцінити вплив різних концентрацій магнетиту на схожість насіння і довжину коренів проростків *S. lycopersicum*; визначити оптимальну концентрацію магнітних наночастинок для підвищення урожайності томату; встановити зміни у морфології коренів рослин, вирощених на субстраті з додаванням різних концентрацій магнетиту; розробити стартап-проект.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. Горобець О. Ю. Біогенні магнітні наночастинки та їх вплив на взаємодію між фітопатогенними агробактеріями і рослинами-хазяївами / О. Ю. Горобець, С. В. Горобець, В. С. Теліженко // daRostim 2019 : матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 25 – 29 червня 2019 р.) / Київ: НУБІП України, 2019.

2. Telizhenko V., Gorobets O. The effects of magnetic nanoparticles on seed germination of tomato *Solanum lycopersicum* L. / V. Telizhenko, O. Gorobets // Biotechnology of XXI century - XIV all-Ukrainian scientific-practical conference. – 2020.

3. Telizhenko V., Gorobets S. Fruit yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under different magnetite concentrations / V. Telizhenko, S. Gorobets // Biotechnology of XXI century - XIV all-Ukrainian scientific-practical conference. – 2020.

## 8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Експериментальна частина	Горобець Світлана Василівна, зав. каф. біоінформатики, д.т.н., професор		
Розробка стартап-проекту	Ткаченко Тетяна Петрівна к.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення предмету дослідження		
2	Характеристика об'єкту дослідження		
3	Огляд літератури		
4	Визначення матеріалів і методів дослідження		
5	Виконання експериментальної частини		
6	Аналіз отриманих результатів		
7	Розробка стартап-проекту		
8	Оформлення магістерської дисертації		

Студентка

Валерія ТЕЛІЖЕНКО

Науковий керівник дисертації

Оксана ГОРОБЕЦЬ

---

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 98 сторінок, 36 таблиць, 11 рисунків, перелік посилань з 67 найменувань.

Мета даного дослідження – дослідити вплив екзогенних та біогенних магнітних наночастинок на розвиток рослин томату *S. lycopersicum*.

Об'єкт дослідження – геноми і протеоми магнітотаксисних бактерій (МТБ) *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 і томату звичайного; рослини *S. lycopersicum* та окремі їх частини: насіння, корені, зелена біомаса, плоди.

Предмет дослідження – генетичний механізм процесу біомінералізації БМН у рослин томату звичайного; процеси накопичення і розподілу екзогенних наночастинок магнетиту у *Solanum lycopersicum* та їх вплив на розвиток і урожайність рослин.

Методи дослідження: методи порівняльної геноміки, методи морфологічного аналізу, фрактальний аналіз.

У роботі було досліджено вплив магнітних наночастинок на схожість насіння і довжину коренів, біомасу і строки утворення квіток і плодів *S. lycopersicum*. Визначено оптимальну концентрацію для підвищення врожайності томату звичайного. Методами фрактального аналізу досліджено зміни у морфології коренів томату під впливом магнітних наночастинок.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** БІОМІНЕРАЛІЗАЦІЯ, МАГНІТНІ НАНОЧАСТИНКИ, *SOLANUM LYCOPERSICUM*, ВРОЖАЙНІСТЬ, МОРФОЛОГІЯ КОРЕНІВ, ФОРМУВАННЯ ПЛОДІВ, СХОЖІСТЬ НАСІННЯ,

## ABSTRACT

The master's thesis contains 98 pages, 36 tables, 11 figures, 67 references.

The purpose of this study was to investigate the effect of exogenous and biogenic magnetic nanoparticles on the development of tomato *Solanum lycopersicum* plants.

The objects of this study are genomes and proteomes of magnetotactic bacteria (MTB) *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 and tomato; *S. lycopersicum* plants and their separate parts: seeds, roots, green biomass and fruits.

The subjects of the study are genetic mechanism of the process of biomineralization of BMN in plants of common tomato; processes of accumulation and distribution of exogenous magnetite nanoparticles in *Solanum lycopersicum* and their influence on development and fruit yield of tomato.

Research methods: comparative genomics, morphological analysis, fractal analysis.

The effect of magnetic nanoparticles on seed germination, root length, biomass, timing of flowering and fruit development of *S. lycopersicum* was studied. The optimal concentration for increasing the yield of common tomato was determined. Changes in the morphology of tomato roots grown in the soil with the addition of magnetic nanoparticles were studied by fractal analysis.

**KEYWORDS:**BIOMINERALIZATION, MAGNETIC NANOPARTICLES, SOLANUM LYCOPERSICUM, YIELD, ROOT MORPHOLOGY, FRUIT FORMATION, SEED GERMINATION.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	9
ВСТУП .....	10
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	13
1.1 Дослідження процесів біомінералізації БМН у рослин .....	13
1.2 Білки біомінералізації БМН МТБ та їх рослинні гомологи.....	15
1.3 Характеристика томату звичайного як модельної рослини .....	16
1.3.1 Систематика і походження .....	17
1.3.2 Генетичні особливості <i>S. lycopersicum</i> .....	18
1.3.3 Морфологічні і фізіологічні особливості томату звичайного..	19
1.3.4 Значення <i>S. lycopersicum</i> для людини.....	22
1.3.5 Вплив магнітних наночастинок на рослини <i>S. lycopersicum</i> ....	23
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	26
2.1 Матеріали досліджень .....	26
2.2 Методи досліджень .....	27
2.2.1 Пошук гомологів білків біомінералізації БМН в протеомах рос- лин .....	27
2.2.2 Методика приготування магнетиту .....	28
2.2.3 Методика вирощування <i>S. lycopersicum</i> .....	30
2.2.4 Оцінка схожості насіння та довжини коренів проростків.....	30
2.2.5 Визначення зеленої біомаси та вмісту води в рослинах.....	31
2.2.6 Оцінка врожайності томату звичайного .....	32
2.2.7 Методи оцінки морфологічних особливостей корневих систем <i>S. lycopersicum</i> .....	32
2.2.7.1 Підготовка зображень до аналізу.....	33
2.2.7.2 Підрахунок площі коренів.....	35
2.2.7.3 Методика проведення фрактального аналізу коре- нів .....	35

2.2.7.4 Визначення похибки методу визначення фрактальних характеристик .....	39
3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ .....	41
3.1 Результати пошуку гомологічних послідовностей .....	41
3.2 Результати пророщування насіння томату звичайного .....	42
3.3 Визначення біомаси і вмісту води у рослинах .....	44
3.4 Вплив магнетиту на врожайність <i>S. lycopersicum</i> .....	44
3.5 Результати аналізу морфології коренів <i>S. lycopersicum</i> .....	49
4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	52
4.1 Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності .....	52
4.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартап-проекту. Ключові фактори успіху .....	56
4.3. Визначення ключових факторів успіху проекту .....	63
4.4. Визначення потенційних споживачів .....	65
4.5 Ціна інноваційної пропозиції на ринку .....	70
4.5.1 Основні фонди підприємства .....	70
4.5.2. Оборотні фонди підприємства .....	72
4.5.3 Розрахунок капіталовкладень і собівартості виробництва .....	74
4.6 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту .....	77
4.7 Ризики стартап – проекту та методи управління ними .....	82
ВИСНОВКИ .....	90
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	91



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

(Б)МН – (біогенні) магнітні наночастинки;

NCBI – National Center for Biotechnology Information;

BLAST – basic local alignment search tool;

МТБ – магнітотаксисна бактерія;

Мб – мегабаза, одиниця виміру довжини ДНК, що складає мільйон пар основ;

SE – стандартна помилка.

## ВСТУП

### Актуальність

Можливість синтезувати біогенні магнітні частинки вже доведена для представників багатьох прокаріотів, архей та еукаріотів, в тому числі і рослин [1, 2]. Ефективність використання магнітних полів та наночастинок для підвищення схожості насіння та прискорення росту багатьох рослинних культур була експериментально підтверджена у багатьох працях [3 – 5]. Проте на сьогодні ще недостатньо вивчені процеси поглинання, розподілу і синтезу магнітних наночастинок (МН) в окремих органах економічно важливих видів рослин, наприклад, томату звичайного (*Solanum lycopersicum* L.). Тому вивчення механізмів біомінералізації у культурних рослин є актуальним у зв'язку з перспективами підвищення їх врожайності та поживної цінності. Крім того, дослідження функцій магнітних наночастинок у рослин дозволить зрозуміти і порівняти функції БМН у представників різних царств живих організмів.

**Мета роботи** – дослідити вплив екзогенних та біогенних МН на розвиток рослин *S. lycopersicum*.

### Завдання:

1. Встановити можливість синтезу БМН за допомогою методів порівняльної геноміки;
2. Оцінити вплив різних концентрацій магнетиту на схожість насіння і довжину коренів проростків *S. lycopersicum*.
3. Визначити оптимальну концентрацію магнітних наночастинок для підвищення урожайності томату.
4. Встановити зміни у морфології коренів рослин, вирощених на субстраті з додаванням різних концентрацій магнетиту.
5. Розробити стартап-проект.

**Об'єкти досліджень:**

- геноми і протеоми магнітотаксисних бактерій (МТБ) *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 і томату звичайного;
- рослини *S. lycopersicum* та окремі їх частини: насіння, корені, зелена біомаса, плоди.

**Предмети досліджень:**

- генетичний механізм процесу біомінералізації БМН у рослин томату звичайного;
- процеси накопичення і розподілу екзогенних наночастинок магнетиту у *Solanum lycopersicum* та їх вплив на розиток і урожайність рослин.

**Методи дослідження:**

- методи порівняльної геноміки використано для вирівнювання білків магнітосомного острівця (МО) МТБ *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 та білків томату звичайного;
- методи морфологічного аналізу;
- фрактальний аналіз.

**Наукова новизна:**

1. Вперше досліджено вплив штучних наночастинок магнетиту на формування плодів і врожайність *S. lycopersicum*.
2. Продемонстровано зміну морфології коренів томату під впливом різних концентрацій магнітних наночастинок.

**Практичне значення:** отримані результати дозволяють створити біостимулятор на основі наночастинок магнетиту для покращення врожайності томату.

**Апробація:**

1. Горобець О. Ю. Біогенні магнітні наночастинки та їх вплив на взаємодію між фітопатогенними агробактеріями і рослинами-хазяївами / О. Ю. Горобець, С. В. Горобець, В. С. Теліженко // daRostim 2019 :

матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 25 – 29 червня 2019 р.) / Київ: НУБІП України, 2019.

2. Telizhenko V., Gorobets O. The effects of magnetic nanoparticles on seed germination of tomato *Solanum lycopersicum* L. / V. Telizhenko, O. Gorobets // Biotechnology of XXI century - XIV all-Ukrainian scientific-practical conference. – 2020.
3. Telizhenko V., Gorobets S. Fruit yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under different magnetite concentrations / V. Telizhenko, S. Gorobets // Biotechnology of XXI century - XIV all-Ukrainian scientific-practical conference. – 2020.

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Дослідження процесів біомінералізації БМН у рослин

Здатність рослин синтезувати БМН була підтверджена у багатьох наукових працях. Перші дослідження були присвячені вивченню впливу магнітних полів на корені рослин. Так, у 1996 [6] було продемонстровано здатність високоградієнтного магнітного поля індукувати внутрішньоклітинний магнітофорез амілопластів у коренях льону і, відповідно, утворення коренями вигинів у протилежному від феромагнітного вістря напрямку. Пізніше, були також проведені спостереження руху корінців саджанців редьки (*Raphanus sativus*) у постійному магнітному полі (рослини реагували у напрямку південного полюсу) [7].

Поруч з використанням магнітних полів, останнім часом набуває поширення вивчення впливу магнітних наночастинок на врожайність сільськогосподарських культур. Наприклад, у праці [5] наночастинки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  пропонуються в якості добрива-замінника традиційних залізовмісних добавок при вирощуванні арахісу (*Arachis hypogaea*). В даній роботі позитивні якості МН пов'язують з їх кращою абсорбцією на дрібнодисперсному субстраті і, відповідно, тривалішою доступністю для рослин.

Повідомляється [8] про збільшення вмісту хлорофілу в суб-апикальних листках сої при проведенні тестів у гідропонних умовах з використанням низьких концентрацій наночастинок суперпарамагнітного оксиду заліза. Дослідники пропонують використовувати наночастинки оксиду заліза можуть в якості джерела заліза для зменшення хлоротичних симптомів дефіциту заліза.

В іншому дослідженні [9] продемонстрували ефективність позакореневого застосування (обприскування листя) 0,5 мг/мл розчину наночастинок заліза для підвищення врожайності вігні китайської (*Vigna unguiculata*) – цінної бобової культури. Спостерігалось збільшення кількості стручків на

рослину (47%), маси 1000 насінин (7%), вмісту заліза в листках (34%) та вмісту хлорофілу (10%) порівняно з контрольною групою. Важливо відмітити, що застосування наночастинок також перевищило ефект солі заліза (на 28%, 4%, 45% і 12% відповідно).

Деякі автори [10, 11] також зазначають можливість «зеленого» синтезу магнітних наночастинок за допомогою екстрактів з рослин.

Однак у всіх цих роботах не приймається до уваги можливість утворення БМН живими рослинами в процесі біомінералізації та роль наночастинок у фізіології рослин.

Відповідно до концепції праць [1, 12], процес біосинтезу БМН є генетично запрограмованим та єдиним для представників всіх доменів живих організмів. Крім того, припускається, що біомагнітні явища, опосередковані наявністю магнітних наночастинок, є невід'ємними рушіями фізіологічних процесів як одно-, так і багатоклітинних складних організмів. Так, у рослин магнітні взаємодії можуть брати участь у транспорті та акумуляції гранул і везикул, в тому числі при синтезі важливих для людини лікарських речовин.

У 2018 році було експериментально, методами скануючої зондової мікроскопії, доведено наявність БМН у тканинах табаку *Nicotiana tabacum*, картоплі *Solanum tuberosum* і гороху посівного *Pisum sativum* [2]. Встановлено, що наночастинок магнетиту формують ланцюжки у провідних тканинах рослин, а саме у флоємі, в ділянках ситоподібних трубок. Таким чином, підтверджується ідея щодо можливої участі БМН в процесах транспорту везикул і гранул з поживними речовинами. Тому доречно, що додавання штучного магнетиту може впливати на дані процеси. Однак, слід також враховувати і негативну дію високих концентрацій наночастинок, здатних утворювати кластери і закупорювати рослинні судини.

## 1.2 Білки біомінералізації БМН МТБ та їх рослинні гомологи

В клітинах магнітотаксисних бактерій наночастинки організовані в мембранні органели – магнетосоми, зібрані в ланцюжки. Відповідно до найбільш поширеної гіпотези, магнітні органели дозволяють бактеріям орієнтуватися в геомагнітних полях Землі (явище магнітотаксису). Формування магнетосом закладене на генетичному рівні у генах магнетосомного острівця, що кодує білки біомінералізації або Mam-білки [13].

Білки біомінералізації БМН можна поділити на дві групи [12]:

1) білки, без яких неможливий процес біомінералізації (MamB, MamM, MamA, MamE, MamO, MamN);

2) інші білки, включаючи регуляторні – впливають на такі параметри БМН, як розподіл за розмірами, морфологія, локалізація в клітині і т. д. (MamQ, MamL, MamJ, MamK тощо).

У нещодавній праці [2] було доведено потенційну можливість синтезу БМН рослинами та визначено їх основні гомологи білків біомінералізації (Табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Гомологи білків біомінералізації БМН у рослин та їх функції [2]

Назва білку МТБ	Функції білків у МТБ	Назва та функції гомологічних білків у рослин
MamA	Містить TPR-домен, що належить до консенсусних послідовностей. Імовірно формує великий гомоолігомер, на якому збираються інші субодиниці магнетосоми.	Peroxisome biogenesis protein, PEX5 (білок біогенезу пероксисом). Білок, асоційований з мембраною пероксисоми, відіграє важливу роль у пероксисомальному транспорті білків.

Продовження табл. 1.1

MamB, MamM	Транспорт іонів $\text{Fe}^{2+}$ , білок-білкові взаємодії, залучені у формування кристалів магнетиту.	CDF – білки (cation efflux family). Транспортують дво-валентні катіони металів ( $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ and $\text{Fe}^{2+}$ ).
MamE, MamO	Належать до серинових протеаз. MamE необхідний для правильної локалізації білків при формуванні магнетосоми і необхідні для збільшення розмірів кристалів магнетиту. MamO може зв'язувати іони металів і активує MamE-залежний протеоліз.	Серинові протеази (наприклад протеаза Do-like 1 хлоропластів або DegP protease 1). Подібні протеази залучені до важливих фізіологічних процесів, включаючи регулювання мітохондріального та хлоропластного гомеостазу, задіяні в розвитку патологічних процесів.
MamK	Має структуру філаменту. Необхідний для формування зв'язаних із мембраною ланцюжків БМН	Актин. Виконує структурну функцію, формуючи цитоскелет.

### 1.3 Характеристика томату звичайного як модельної рослини

Для експериментальної роботи було обрано томат звичайний *Solanum lycopersicum* L. Культурний томат – трав'яниста рослина з родини пасльонових – належить як до найбільш економічно цінних культур, так і до важливих об'єктів дослідження [14]. Добре досліджений геном, будова, фізіологія і біохімія, а також відносна легкість культивування в лабораторних умовах роблять томат зручною моделлю для вивчення дводольних плодових



рослин. Знання генетичних, біохімічних і фізіологічних особливостей є важливим для розуміння впливу фізико-хімічних факторів (в даній роботі – наночастинок магнетиту), що діють на рослину у контрольованому середовищі

### 1.3.1 Систематика і походження

Систематичне положення томату звичайного, відповідно до бази даних PLANTS Міністерства сільського господарства США [15], наступне:

Домен: Еукаріоти (*Eukaryota*), царство: Рослини (*Plantae*), підцарство: Судинні рослини (*Tracheobionta*) надвідділ: Насінні (*Spermatophyta*), відділ: Покритонасінні (*Magnoliophyta*), клас: дводольні (*Magnoliopsida*), підклас: Айстериди (*Asteridae*) порядок: Пасльоноцвіті (*Solanales*), родина: Пасльонові (*Solanaceae*), рід: Паслін (*Solanum*), вид: Томат звичайний (*Solanum lycopersicum* L.)

За походженням *S. lycopersicum* належить до південноамериканських рослин родини пасльонових (*Solanaceae*). Типовими місцями зростання дикого томату дослідники [16] вважають рівнини західного узбережжя Південної Америки. Поздовжній ареал простягається на 2000 км від центрального Екватору до північної Чилі. В якості плодової культури томат вперше почали вирощувати ацтеки (центральна Мексика), а до Європи насіння *S. lycopersicum* потрапило у XVI столітті.

У монографії, присвяченій диким томатам і спорідненим видам, Peralta зі співавторами [17] виділили 13 видів диких томатів, включаючи чотири види поліморфних *S. peruvianum sensu lato* і культурний томат (*S. lycopersicum*) як частину клади томатів (*Solanum* section *Lycopersicum*). З еволюційної точки зору клади томатів - молода група, що виділилася відносно недавно. Базуючись на ядерних і хлоропластних маркерах, вік родини *Solanum* оцінюють в 12 мільйонів років [18], тоді як клади томатів, згідно аналізу ядерних генів – приблизно в 7 мільйонів [19].

Рушієм еволюції диких томатів, імовірно, слугувала необхідність пристосування до середовища, що швидко змінюється. Так, кліматичні зміни в Голоцені і формування Перувіансько-Чилійських пустель могли запустити процес адаптації анцестральних (предкових) популяцій до нових умов, приводячи до диференціації і видоутворення. Деякі популяції, пристосовані до більш вологих умов середовища, колонізували північні області, тоді як рослини, краще адаптовані до посушливого клімату, мігрували вздовж Тихоокеанського узбережжя і заселили сусідні західні схили. Представники *S. lycopersicoides*, близькоспоріднені до клади предків культурного томату, еволюціонували в пустелях [14]. *S. pimpinellifolium*, що вважається одним з найближчих родичів *S. lycopersicum*, зростає в різноманітних умовах, від тропічних лісів Еквадору до пустельних узбережь Перу [20].

### 1.3.2 Генетичні особливості *S. lycopersicum*

На сьогоднішній день генетика томату є відносно добре вивченою. Усі дикі види томату є диплоїдними ( $2n = 2x = 24$ ) і можуть схрещуватись з культурним томатом [21].

Геном інбредного культивару «Heinz 1706» було секвеновано і повністю зібрано у 2012 році [22]. Тоді ж було виявлено, що геном томату відрізняється від інших покритонасінних рослин меншою кількістю копій, що пояснює його зручність як об'єкту для генетичних модифікацій. Геном *S. lycopersicum* наразі є модельним для всього сімейства Пасльонових (*Solanaceae*).

Встановлено, що четверта частина геному (25%) помідора складається з еухроматину, що містить більшість білок-кодуючих генів (близько 220 Мб). Інша частина геному (75%) представлена гетерохроматином, збагаченим на повторювані послідовності, з невеликою кількістю генів. Було передбачено, що томат має ~35000 генів, зосереджених переважно в еухроматинових ділянках [23].

У томатів гетерохроматин сконцентрований навколо центромер, тоді як еухроматин знаходиться в дистальних ділянках кожної хромосоми. У багатьох інших культурних рослин, наприклад, у маїсу (кукурудзи) або рису, гетерохроматин і еухроматин перемежуються. Ця відмінність дозволяє вченим сфокусуватися на секвенуванні і аналізі еухроматинових ділянок, збагачених на гени [24].

Таким чином, *S. lycopersicum* представляє собою зручний об'єкт для дослідження гомологічних генів і білків, в тому числі білків біомінералізації БМН.

### 1.3.3 Морфологічні і фізіологічні особливості томату звичайного

Дикі томати – трав'янисті рослини, переважно однорічні, проте за сприятливих умов здатні формувати нові пагони на наступний рік. Стебла спочатку прямі, але пізніше, під впливом маси гілок, рослина може згинатися, утворюючи адвентивні (придаткові) корені [14]

До особливостей будови рослин томату належить симподіальний тип галуження стебла, наявність складних листків та формування м'ясистих соковитих плодів [24].

Ключову роль у формуванні плодів відіграє вода, що надходить апопластичним (ксилема) та симпластичним (флоема) шляхом [25].

В контексті вивчення впливу наночастинок на рослини, важливо знати діаметр провідних елементів, особливо ситоподібних трубок (оскільки екзогенний магнетит має тенденцію формувати ланцюжки з БМН, що знаходяться в зоні флоєми [2] ).

Діаметр ситоподібних отворів флоєми, характерний для рослин *S. lycopersicum* – від 0.31 – 0.76 мкм у плодоніжках (рис. 1) до 1,5 мкм у стеблі [26].

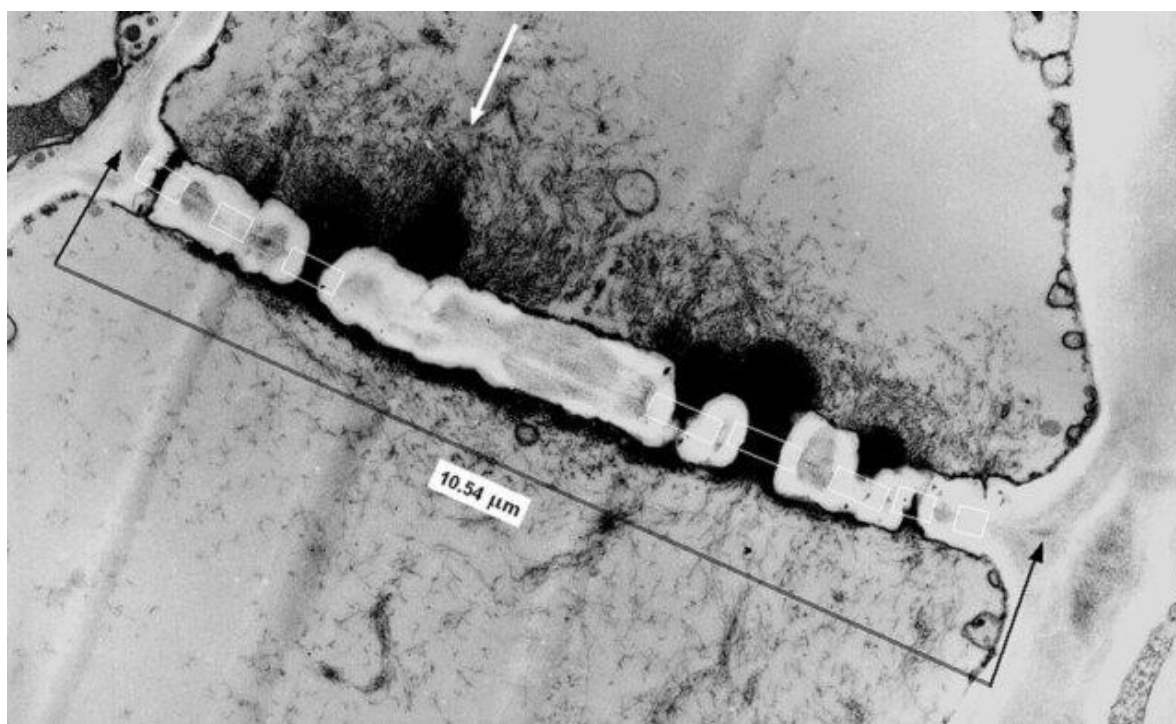


Рисунок 1.1 – Мікрофотографія ситоподібних отворів в плодоніжці то-мату звичайного. Ділянки отворів позначені білими прямокутниками [27]

У таблиці 1 наведені порівняльні дані діаметрів ситоподібних трубок для різних рослин.

Таблиця 1.2 – Діаметри ситоподібних отворів у різних рослин [26]

Назва рослини	Середній діаметр ситопо- дібних отворів $\pm$ SE, мкм
Томат звичайний ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	$0,61 \pm 0,15$
Гарбуз велетенський ( <i>Cucurbita maxima</i> )	$2,54 \pm 0,86$
Квасоля звичайна ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	$0,73 \pm 0,24$
Рицина ( <i>Ricinus communis</i> )	$0,52 \pm 0,14$
Бамбук ( <i>Phyllostachys nuda</i> )	$0,61 \pm 0,13$
Тютюн справжній ( <i>Nicotiana tabacum</i> )	0,35
Різушка Таля ( <i>Arabidopsis thaliana</i> )	0,26

Як видно з таблиці, для томату звичайного характерний відносно великий діаметр ситоподібних елементів, особливо у порівнянні з відомими модельними рослинами, такими як тютюн і різушка Таля.

Для провідних елементів ксилеми характерні значно більші розміри. Так, судини у міжвузлях *S. lycopersicum* поділяються на два типи: вузькі (діаметр 10 – 50 мкм) і широкі (50 – 160 мкм), що у десятки разів перевищує діаметр ситоподібних отворів.

У 2006 році за допомогою методів магнітно-резонансної томографії було продемонстровано [28], що для томатів характерною є відносно висока лінійна швидкість потоку води, як у ксилемі, так і у флоемі (рис. 2).

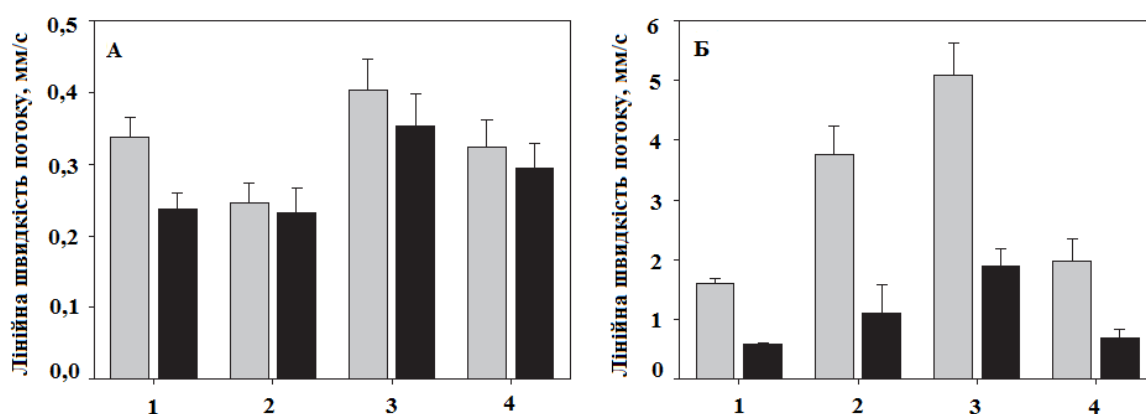


Рисунок 1.2 – Середня лінійна швидкість потоку (мм/с) у флоемі (А) і ксилемі (Б) рослин: 1 – тополя сіра (*Populus tremula* × *Populus alba*); 2 – ричина (*Ricinus communis*); 3 – томат (*Solanum lycopersicum* cv. Counter); 4 – табак (*Nicotiana tabacum* cv. Petit Havana SR1). Сірим кольором позначена швидкість потоку вдень, чорним - уночі [28]

За колір дозрілих плодів томату відповідають дві каротиноїдні сполуки: лікопен і бета-каротин, що синтезуються у хромопластах. Руке і Howells дослідили, що для *S. lycopersicum* характерна складна структура випинань хромопластів – стромул [29]. Так, у плодах, вони мають видовжену форму і розчленовані на відсіки у вигляді «намиста». Деякі з таких структур

розташовуються окремо від пластид і мають вигляд везикул, розміщених подібно до намиста. Вірогідно, ці структури представляють механізм транспорту, в якому везикули, що походять від хлоропластів, можуть транспортуватись по клітині і брати участь у біосинтезі каротиноїдів.

### 1.3.4 Значення *S. lycopersicum* для людини

*S. lycopersicum* – цінна сільськогосподарська культура. Плоди томату звичайного є джерелом цінних для людини речовин – лікопіну,  $\beta$ -каротину, флавоноїдів, вітаміну С тощо [30].

Завдяки традиційним методам селекції і схрещування різних видів, була створена велика кількість сортів культурного томату. Серед досягнень класичних методів слід відмітити отримання томатів, резистентних до хвороб, стійких до несприятливих навколишніх умов (посуха, низькі температури тощо), підвищення врожайності, пришвидшення формування плодів [31].

Добре досліджена генетика окремих ознак дозволяє створювати модифіковані сорти. Приклад – томати з відкладеним строком дозрівання плодів, трансгенні помідори, стійкі до збудників деяких вірусних захворювань, партенокарпні сорти (без насіння) [32].

Томат звичайний належить до відомих моделей для вивчення розвитку і дозрівання плодів. Широко застосовується томат і як об'єкт для вивчення взаємодій патоген-рослина, у зв'язку з високою чутливістю до великої кількості бактеріальних і грибкових захворювань [33].

Підсумовуючи вищезазначене, доцільним є вибір томату в якості об'єкту для дослідження транспорту і накопичення магнітних наночастинок в різних органах (зокрема, плодах).

### 1.3.5 Вплив магнітних наночастинок на рослини *S. lycopersicum*

Незважаючи на велику кількість статей, присвячену генетиці, біохімії та методам підвищення врожайності томатів, вплив магнітних наночастинок на рослини висвітлений лише частково. Ще у 1963 році було проведено дослідження [34] впливу магнітного поля на швидкість дозрівання вже зібраних плодів томату. За результатами експерименту, плоди, що знаходились під дією постійного магнітного поля, дозрівали швидше на 1 – 2 дні, ніж контрольні. Автори пояснили явище трьома потенційними механізмами.

1. Ауксин-подібною дією магнітного поля (магнетотропізмом) або активацією ауксину.
2. Активацією та/або акселерацією ферментативних систем, що покращило клітинне дихання в плодах.
3. Формуванням радикалів, які також пришвидшили дихальні процеси.

Kalikeri зі співавторами [35] дослідили вплив магнітної рідини, що складалася з наночастинок маггеміту (оксиду заліза (III),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) на проростання насіння, розвиток паростків та накопичення наночастинок в корені і зелених органах томату звичайного. В ході даного експерименту було встановлено, що маггеміт у концентрації 0,05 мг/мл та 0,2 мг/мл підвищує схожість насіння (93% та 97% відповідно проти 92% у контролю), в той час як вищі концентрації (0,4 – 0,8 мг/мл) майже не спричиняють ефекту. Довжина коренів і паростків також збільшувалась при підвищенні концентрації наночастинок з 0,05 до 0,2 мг/мл і поступово зменшувалась при подальшому підвищенні концентрації: максимальна довжина коренів (66 мм) спостерігалась при концентрації 0,1 мг/мл, пагонів (64 мм) – при 0,2 мг/мл, тоді як у контрольних проростків корінь і паросток досягав у середньому довжини 52 і 39 мм відповідно. В даній статті також визначено, що найвища концентрація наночастинок досягається у кореневих волосках, верхівці кореня, трохи нижча – у вузлах і середній частині рослини. Агреговані наночастинок були

також виявлені в клітинах механічної тканини. Автори також визначили відносний вміст  $\text{Fe}^{3+}$  і  $\text{Fe}^{2+}$  та відмітили, що частина трьохвалентного заліза (характерного для маггеміту) перетворилась у двохвалентне. Однак, вони не пояснюють даного явища.

У 2016 році було також визначено і порівняно [36] вміст хлорофілів а і b та каротину в листях *S. lycopersicum*, вирощених при додаванні розчинів наночастинок маггеміту у концентрації 0,08 і 0,16 мг/мл. Результати, отримані авторами статті, наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Вміст хлорофілів і каротину в зразках листя рослин томату, вирощених з додаванням різних концентрацій нанорозмірного маггеміту [36]

Концентрація магнітної рідини (мг/мл)	Хлорофіл а (мг/г)	Хлорофіл b (мг/г)	Загальний каротин (мг/г)
0 (контроль)	5,57	2,82	1,076
0,08	9,6	3,78	2,305
0,16	5,26	2,57	1,025

Таким чином, невеликі концентрації наночастинок маггеміту стимулюють біосинтетичні процеси і підвищують вміст хлорофілу і каротину в листях томату, однак вищі концентрації, навпаки, мають здатність знижувати концентрації даних речовин в зеленій біомасі.

Іншою групою дослідників було опубліковано дослідження [37] з визначення впливу розчинів наночастинок маггеміту на гідравлічну провідність коренів *S. lycopersicum*, вирощених у гідрокультурі. Отримані дані свідчать про зменшення провідності з  $2087 \pm 348$  до  $1266 \pm 346$  мг/г·год·МПа при обробці рослин розчином наночастинок у концентрації 0,05 мг/мл впродовж 6 днів. Також було відмічено зниження вмісту хлорофілу приблизно на 53%



та хлорофілу *b* – на 35%. Автори пояснюють негативний вплив наночастинок їх агрегацією на поверхні коренів рослин і подальшим блокуванням всисної функції.

На мою думку, можливою причиною пригнічення функцій може бути той факт, що розчин маггеміту подавався однократно на початку експерименту і за 6 днів у водному розчині окремі наночастинки розміром до 100 нм мали змогу агломерувати у великі кластери, що інтенсивніше взаємодіяли з БМН і забивали провідні тканини рослин.

У 2019 році було також продемонстровано [38], що додавання нанорозмірного магнетиту дозволяє знижувати вплив кадмієвого стресу на життєдіяльність рослин томату звичайного. Автори запропонували декілька версій можливих механізмів захисту рослин від важких металів за допомогою МН:

1. Зниження накопичення кадмію у коренях і пагонах, пов'язане з конкуруючою дією іонів  $\text{Fe}^{2+}$  при транспорті іонів через клітинну мембрану.
2. Зменшення оксидативного стресу у зв'язку зі зниженням накопичення кадмію.
3. Регуляція абсорбції поживних елементів, що грають захисну роль при оксидативному стресі.

Таким чином, в існуючій літературі містяться дані з дослідження впливу магнітних наночастинок (переважно, маггеміту) на проростання, ранній розвиток, провідність коренів та біохімічний вміст зеленої маси томатів. В різних дослідженнях виявлено, що МН можуть спричиняти як негативні так і позитивні ефекти на рослини, залежно від концентрації, дизайну експерименту тощо. Однак, ще не було досліджено загальний вплив наночастинок магнетиту на *S. lycopersicum* у довготривалому експерименті, з моменту посіву до отримання плодів. Нерозкритим залишається питання впливу магнетиту на формування плодів та врожайність томату. Крім того, у дослідженнях не враховується можливість взаємодії БМН з екзогенними магнітними наночастинок.

## 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Матеріали досліджень

Для виконання біоінформаційного дослідження в якості матеріалу виступали протеоми *S. lycopersicum*, та амінокислотні послідовності білків магнітосомного острівця магнітотаксисної бактерії *M. Gryphiswaldense* MSR-1 отримані з бази даних NCBI.

При проведенні експерименту з вирощування і оцінки морфології томату звичайного були використані наступні матеріали і обладнання:

- насіння *S. lycopersicum* cv. Heinz 1706;
- універсальний субстрат для рослин;
- розчин аміаку –  $\text{NH}_4\text{OH}$ ;
- гексагідрат хлориду заліза (III) –  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;
- гептагідрат сульфату заліза (II) –  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;
- олеат натрію;
- вода дистильована;
- сітки металеві з діаметром комірок 1 і 0,3 см;
- ємності для вирощування рослин об'ємом 0,3 л і 5 л;
- ваги аналітичні;
- мішалка механічна;
- фотокамера Canon 650d;
- штатив для фотокамери.

## 2.2 Методи досліджень

### 2.2.1 Пошук гомологів білків біомінералізації БМН в протеомах рослин

Для теоретичного підтвердження можливості синтезу БМН було здійснено пошук гомологів білків біомінералізації магнітотаксисної бактерії *M. gryphiswaldense* у протеомі *S. lycopersicum*. Для цього було використано метод попарного вирівнювання білкових послідовностей за допомогою веб-інтерфейсу вільної в доступі програми BLAST Національного центру біотехнологічної інформації [39]. BLAST (basiclocal alignment search tool) [40] – програма, створена для пошуку подібних нуклеотидних або амінокислотних послідовностей. Крім вирівняних послідовностей, на виході BLAST також надає статистичну інформацію для зручної інтерпретації результатів і встановлення біологічної значимості отриманих вирівнювань [41].

При оцінці подібності послідовностей враховують наступні показники:

1. Ident (%) – відсоток нуклеотидних або амінокислотних залишків, що співпадають при вирівнюванні заданої і вихідної послідовності. Якщо два протеїни мають більш, ніж 45% ідентичних залишків, їх структуру, і, відповідно, функції, можна вважати дуже схожими; якщо в результаті отримуємо понад 25% ідентичних залишків, то, скоріше за все, вони не дуже подібні за структурою, проте мають схожі механізми фолдингу і тому гомологія білків не є виключеною; ділянки з кількістю ідентичних амінокислотних залишків, що становить 18-24%, позначають як «twilight zone» («сутінкова або сумнівна зона»), в якій допускається гомологія, але в подальшому необхідна їх додаткова перевірка [40].

2. E-value (E-число) – число послідовностей, що можна випадково отримати з бази даних, і що мають оцінку, рівну або більшу за обраховану

при вирівнювання заданої послідовності та вихідної послідовності. Для вихідних послідовностей, подібних до заданої, E-число зазвичай дуже мале, що вказує на менший рівень прояву фактору випадковості при співпадинні нуклеотидів або амінокислотних залишків білків. Величина E-числа залежить від кількості ідентичних нуклеотидів або амінокислотних залишків у двох білків та наявності інформації про нуклеотидні/амінокислотні послідовності геному/протеому відповідного виду у базі даних [42].

Для аналізу в даній роботі використано наступні межі E-числа: якщо значення  $\leq 10^{-10}$ , то можна вважати, що послідовності повністю гомологічні; якщо знаходиться в проміжку від  $10^{-10}$  до  $10^{-5}$ , гомологія не може бути виключеною; якщо  $E \geq 0,05$ , то виявлене співпадиння між заданою і вихідною послідовністю може мати випадковий характер [40].

3. Query cover або Q (%) – число, що показує, який відсоток заданого білку покриває знайдена послідовність. Надає можливість порівняти довжину двох послідовностей вирівнювання.

### 2.2.2 Методика приготування магнетиту

Для приготування магнітної рідини використовували метод співосадження солей заліза II- та III-валентного концентрованим розчином аміаку [43].

Обладнання і матеріали: аналітичні ваги, лабораторні склянки місткістю 350 та 500 мл, магніт, піпетки, резинова груша, капілярна трубка, скляна паличка для перемішування, механічна мішалка, порцелянова чашка, паперові фільтри, лакмусові папірці, центрифужні пробірки, центрифуга, гептагідрат сульфату заліза (II)  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , гексагідрат хлориду заліза (III)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , розчин аміаку 25%-ий –  $\text{NH}_4\text{OH}$ , олеат натрію.

Синтез виконували за наступним протоколом:

1. В 250 см<sup>3</sup> дистильованої води додавали 6 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  і 12 г  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Розчин підігрівали для покращення розчинення солі.
2. Отриманий розчин фільтрували для відділення механічних домішків.
3. В чисту склянку наливали 75 мл розчину аміаку. Операцію проводили під витяжною шафою.
4. Розчин солей заліза по краплі додавали до розчину аміаку при постійному перемішуванні. При цьому коричнево-помаранчевий розчин утворював суспензію чорного кольору.
5. Після завершення реакції додавали 100 мл дистильованої води, розмішували суспензію і на 30 хвилин встановлювали на постійний магніт.
6. П. 5 повторювали до тих пір, доки рН розчину не встановлювався у межах 7 – 7,5.
7. Після досягнення потрібного рівня рН, зливали надосадову рідину на 2/3, суспензію переносили на паперовий фільтр.
8. Магнетит з фільтру переносили у порцелянову чашку, додавали 3,75 г олеату натрію. Гріли суміш при температурі 80 °С і постійному перемішуванні до отримання субстанції потрібної консистенції («патока»).
9. Охолоджували субстанцію до кімнатної температури, додавали 25 мл дистильованої води і центрифугували на 5 тис. г $\cdot$ м протягом 5 хвилин для осадження великих частинок. Отриману надосадову рідину зливали в флакони з непрозорого темного скла.

### 2.2.3 Методика вирощування *S. lycopersicum*

При проведенні експерименту дотримувались стандартних методик і рекомендацій по вирощуванню томату звичайного в лабораторних умовах [44].

Перший етап складався з пророщування насіння томату звичайного. Було підготовлено 3 стерильні чашки Петрі з фільтрувальним папером, зволоженим шляхом додавання 1 мл дистильованої води у кожен ємність.

В одну з чашок додавали 2 мл розчину магнетиту концентрацією 1 мг/мл, в другу – 2 мл розчину магнетиту концентрацією 0,1 мг/мл. В третю (контрольну) чашку – 2 мл дистильованої води.

В кожен чашку висівали по 30 насінин томату (попередньо дезінфікованих у розчині спирту 70% впродовж 2 хвилин).

Після пророщування, культивували помідори, виконуючи наступні кроки:

1. Відбирали по 10 пророслих насінин з кожної групи і висівали у ємності об'ємом 0,3 л і діаметром 13 см.
2. Поливали 2 рази на тиждень відстояною водою + розчинами магнетиту (0,1 і 1 мг/мл) по 5 мл підкоренево.
3. Додатково вносили комплексне добриво підкоренево 1 раз на 2 тижні.
4. Режим освітлення: ~15 000 люксів, 12-годинний світловий день.
5. Через 2 місяці культивування пересаджували у більші ємності (5 л, діаметр 25 см), збільшували дозування магнітної рідини до 10 мл.

### 2.2.4 Оцінка схожості насіння та довжини коренів проростків

Пророщене насіння оцінювали через 4 дні після посіву. Відсоток схожості насіння обраховували за наступною формулою:

$$Схожість(\%) = \frac{n}{m} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де  $n$  – кількість насіння, що проросло,

$m$  – загальна кількість насіння в чашці Петрі.

Вимірювання довжини коренів проводили за допомогою електронного штангенциркулю і повторювали 3 рази для кожного паростка. З отриманих результатів обраховували середнє і стандартну помилку за формулою:

$$SE = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} , \quad (2)$$

де  $n$  – кількість коренів,

$x$  - довжина  $n$ -ного кореню,

$\bar{x}$  - середня довжина коренів.

### 2.2.5 Визначення зеленої біомаси та вмісту води в рослинах

Для визначення зеленої біомаси на 82-й день вегетації відбирали по 4 рослини з кожної групи. Відділяли верхню зелену частину в зоні кореневої шийки. Зважування проводили на аналітичних вагах. Оскільки негативний вплив магнітних наночастинок часто пов'язаний з абсорбцією на коренях та закупорюванням провідних судин і блокуванням надходження води та мінеральних речовин [37, 2], було вирішено оцінити загальний вміст води в рослинах томату. Для цього після зважування свіжої біомаси, рослини висушували до сталої маси і фіксували зміни до і після висушування. Відсоток води розраховували за формулою.

$$H_2O(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% , \quad (3)$$

де  $m_1$  – біомаса до висушування,

$m_2$  – біомаса після висушування.

### 2.2.6 Оцінка врожайності томату звичайного

До економічно важливих характеристик томату відносяться швидкість формування квіток і плодів [45], маса окремих плодів та загальна врожайність [46].

Для оцінки динаміки утворення квіток, починаючи з появи першого бутону на 75 добу вегетації, кожні три дні протягом трьох тижнів фіксували загальну кількість бутонів/квіток. Аналогічно спостерігали також утворення плодів, але з періодичністю в один тиждень (оскільки формування плодів відбувалося повільніше, ніж поява квіток).

На 130 добу вегетації плоди було зібрано і зважено на аналітичних вагах для визначення маси окремого плоду та загальної врожайності.

### 2.2.7 Методи оцінки морфологічних особливостей кореневих систем *S. lycopersicum*

З досліджень, проведених Wang зі співробітниками [47] відомо, що екзогенні магнітні частинки мають тенденцію переважно накопичуватись в коренях рослин, впливаючи на їх подальший розвиток. Незважаючи на те, що у статті описаний експеримент з нестабілізованими наночастинками  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , схильними до утворення кластерів і закупорювання провідних тканин коренів дослідних рослин, стабілізовані олеатом натрію МН також агрегують (хоча й повільніше) і затримуються в кореневій системі. Тому було вирішено дослідити імовірні зміни в морфології коренів рослин *S. lycopersicum*, вирощених на субстраті з додаванням різних концентрацій магнітної рідини.

Визначення морфологічних характеристик коренів рослин проводилось за допомогою комп'ютерного аналізу оброблених фотографій кореневих систем 12 рослин томатів (по 4 зразки для контролю, рослин вирощених



з додаванням 0,1 і 1 мг/мл магнетиту). Експеримент було поділено на три етапи.

#### 2.2.7.1 Підготовка зображень до аналізу

Даний етап полягав в отриманні якісних бінарних зображень коренів *S. lycopersicum* для подальшої обробки. При виконанні всіх процедур орієнтувались на методики, викладені у рекомендаціях з підготовки коренів до аналізу зображень [48]. Підготовка складалась з наступних стадій.

1. Вилучення коренів з ємностей і механічне відділення від екзогенних об'єктів. Для того, щоб мінімізувати пошкодження, субстрат попередньо зволожували і вилучали корені повністю з грудкою земляної суміші. Після цього переносили вилучений об'єкт на сітку і промивали під проточною водою. Після вилучення основної маси субстрату, вручну, за допомогою пінцету, вилучали дрібні екзогенні залишки. Повторювали промивання на сітці з меншим діаметром комірок, доки корінь не ставав візуально очищеним від субстрату.
2. Вибір фону для фотографування. Оскільки очищені корені томату мають досить контрастне світло-жовте забарвлення, в якості фону було обрано чорну матову тканину.
3. Розміщення коренів. Розкладали на однорідному темному фоні, максимально розправляючи корені в одній площині.
4. Фотографування. Для того, щоб отримати зображення в однаковому масштабі, знімки робили з використанням штативу на рівних відстанях для кожного зразку. Серед 10 знімків обирали найбільш чіткий для подальшого аналізу.
5. Обробка і перетворення фотографій. Виконання більшості видів комп'ютерного аналізу форми коренів потребує наявності чорно-білого бінарного зображення. Для приведення фотографій

до необхідного формату використовували спеціалізовану програму ImageJ [49]. ImageJ існує у відкритому доступі і призначена для обробки, конвертації та аналізу зображень. Крім того, дана програма містить велику кількість плагінів, що значно розширюють її можливості. Для перетворення зображення у чорно-білу форму, було мануально підібрано поріг, за допомогою якого корені (набір світлих пікселів) були відділені від темного фону. Після цього всі корені були зафарбовані у білий колір, а фон – у темний. Деякі ділянки коренів, помилково визначені як фон (і навпаки) були скореговані вручну. Далі, зображення було інвертовано для більш зручного перегляду і переведено у бінарний формат. Приклад вхідного і отриманого зображення наведений на рисунку 2.1.

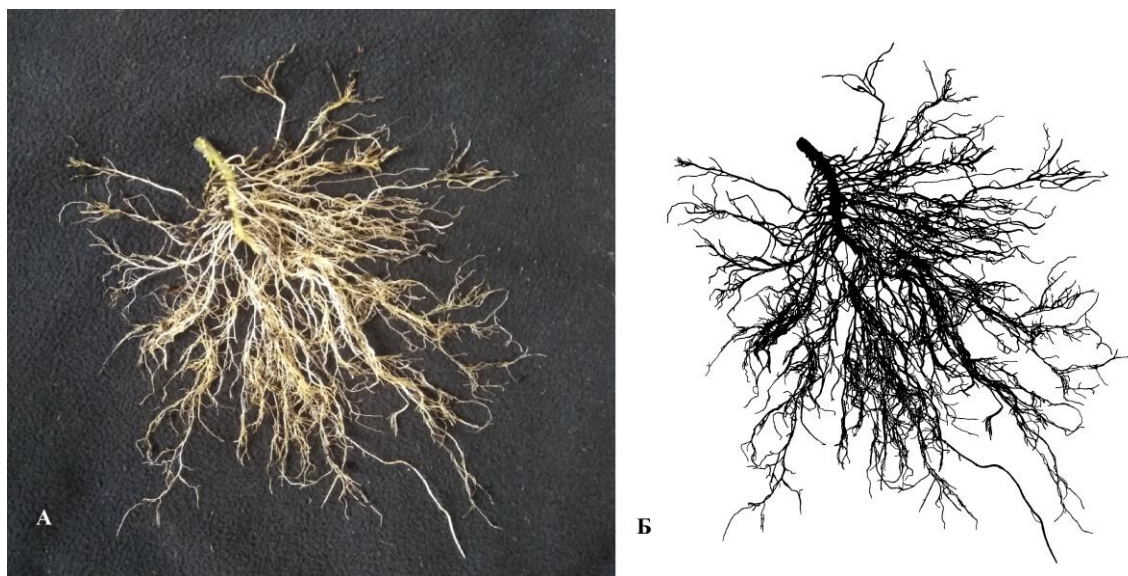


Рисунок 2.1 – Приклад обробки фотографії кореню томату для подальшого аналізу. А – вхідна фотографія, Б – зображення після обробки

### **2.2.7.2 Підрахунок площі коренів**

У сучасних дослідженнях вважається [50], що одним з найголовніших параметрів, які характеризують здатність коренів рослин поглинати воду і поживні речовини, є площа поверхні кореневої системи.

Для порівняння площі поверхні коренів експериментальних рослин доцільним методом є визначення площі, яку займає корінь на 2d зображенні. Оскільки всі отримані зображення мають однаковий розмір, а зображення є чорно-білим, кількість чорних пікселів відповідає умовній площі кореня.

Для підрахунку чорних пікселей було у програмі MathCad було створено код, що на вході приймає зображення у форматі .bmp і переводить його у матрицю, де кожному пікселю відповідає код за чорно-білою палітрою: 0 – для чорного кольору, 255 – для білого. Після цього у циклі підраховується кількість комірок зі значенням «0».

### **2.2.7.3 Методика проведення фрактального аналізу коренів**

Корені рослин розвиваються у ґрунті і формують складну систему розгалужень. Такі функції, як споживання води і поживних речовин тісно залежать від розвитку кореневої системи. Так, у 1994 році Fitter продемонстрував, що збільшення об'єму ґрунту, заповненого корінням в результаті постійного галуження, може відображати адаптивну здатність рослини ефективно добувати нерівномірно розподілену воду і поживні речовини [51]. Тому методи кількісної оцінки морфології рослинних кореневих систем, особливо з точки зору їх розгалужень, є важливими при аналізі архітектури коренів і визначення ролі цих підземних органів у загальному розвитку рослини [52].

До класичних методів аналізу кореневих систем належать морфометричний і топологічний аналіз [51]. Однак, незважаючи на їх інформативність, недоліком є необхідність надто складних і точних вимірювань, здійснити які майже неможливо при обробці великої кількості зображень. До альтернативних методів належить фрактальний аналіз. Фрактальна геометрія широко застосовується для аналізу будови кореневих систем та оцінки розподілу коренів у субстраті [52, 53]. Фрактальна геометрія краще підходить для опису складних природних явищ, ніж стандартна Евклідова геометрія [54]. Оскільки кореневі системи володіють самоподібністю, їх можна розглядати як псевдофрактальні об'єкти. Порівняння фрактальних властивостей рослин, вирощених у різних умовах, часто дозволяє пояснити певні адаптивні реакції і відмінності у кореневих системах. Наприклад, Wang зі співавторами, вивчаючи розвиток коренів двох генотипів рису [47], продемонстрував, що для рослин, пристосованих до існування в більш посушливих регіонах, фрактальна розмарність коренів збільшується порівняно з сортами, що ростуть у воді. Це пояснює кращу спроможність розгалужених коренів до вилучення води з пересихаючих ґрунтів.

При проведенні фрактального аналізу коренів звичайно використовують метод підрахунку комірок (рис. 2.2) і рівняння [55], з якого виводиться фрактальна розмірність ( $D$ ):

$$N_{(r)} = r^{-D}, \quad (4)$$

де  $r$  – довжина сторони комірки;

$N_{(r)}$  – кількість комірок розміру  $r$ , необхідна для того, щоб вкрити об'єкт, що аналізується;

$D$  – фрактальна розмірність.

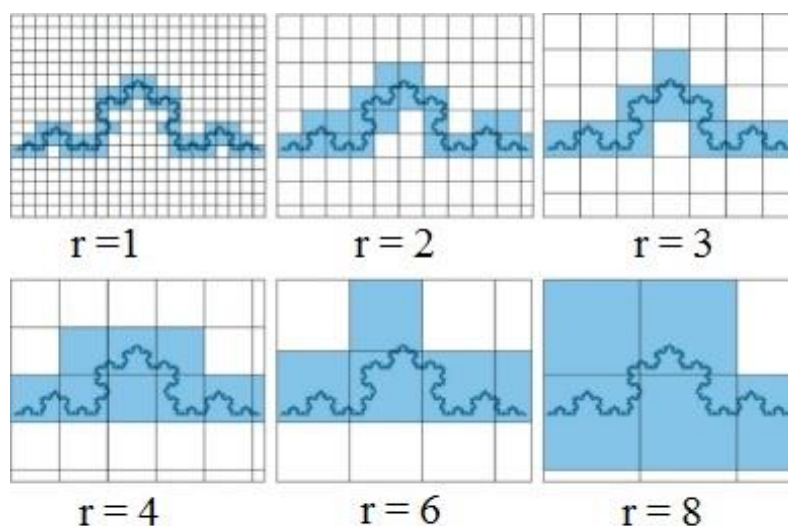


Рисунок 2.2 – Приклад розбиття зображення розміром  $17 \times 21$  на комірки різного розміру [56]

Окрім фрактальної розмірності, було також вирішено обчислити лакунарність кореневих систем. Поняття «лакунарність» було введено Мандельбротом для вимірювання просторового розподілу проміжків певного розміру на текстурі зображення [54]. У фрактальному аналізі лакунарність характеризує міру наявності проміжків, або «візуальну текстуру» як, наприклад, у мозаїчній структурі лісів [57]. Лакунарність також визначають як ступінь «неоднорідності, поступальної та обертальної інваріантності» [58], оскільки низька лакунарність передбачає однорідність, а обертання зображення не змінить його загальний вигляд. Таким чином, зображення, що має переважно однакові за розміром проміжки і невелику обертальну дисперсію, очікувано буде мати низьку лакунарність, а неоднорідне зображення з безліччю розривів різного розміру та помітною дисперсією обертання - високу лакунарність. Поряд з фрактальною розмірністю, лакунарність використовують у біологічних і медичних дослідженнях, наприклад, при дослідженнях морфології клітин мікроглії головного мозку [59] та для класифікації листя рослин [60]. Автори даних робіт пояснюють використання лакунарності для того, щоб розрізнити об'єкти, які мають однакову фрактальну розмірність, але виглядають по-різному.

Для обчислення лакуарності, як і для фрактальної розмірності, використовують метод підрахунку комірок. Спрощено, для кожної комірки ( $\varepsilon$ ) орієнтацією ( $g$ ) лакуарність визначається за формулою [61]:

$$\lambda_{\varepsilon,g} = \left( \frac{\sigma_{\varepsilon,g}}{\mu_{\varepsilon,g}} \right)^2, \quad (5)$$

де  $\lambda_{\varepsilon,g}$  – лакуарність;

$\sigma_{\varepsilon,g}$  – стандартне відхилення;

$\mu_{\varepsilon,g}$  – середня кількість пікселів у комірці.

Розрахунок фрактальної розмірності і лакуарності зображень кореневих систем *S. lycopersicum* було виконано за допомогою спеціалізованого плагіну FracLac для ImageJ [62]. Програма дозволяє обчислювати складні морфологічні особливості за допомогою фрактального аналізу (рис. 2.3).

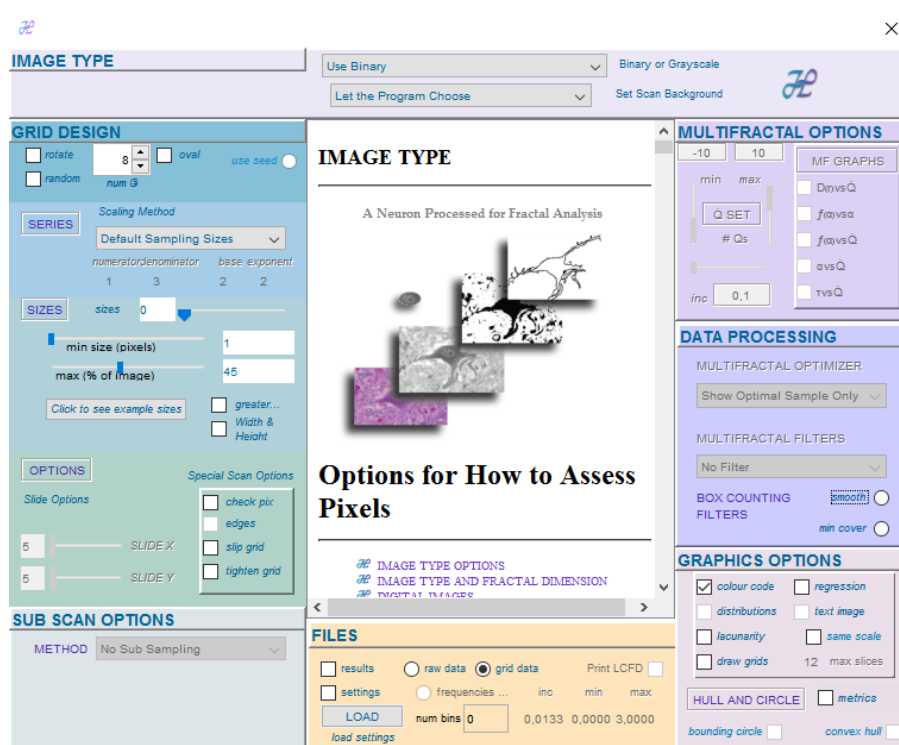


Рисунок 2.3 – Інтерфейс програми FracLac (меню вибору параметрів)

FracLac має гнучкий інтерфейс, що дозволяє варіювати велику кількість параметрів, таких, як мінімальний і максимальний розмір комірок, кількість позицій сітки тощо.

При виконанні даної роботи для покращення точності обчислень було виставлено 8 позицій сітки (програма видає усереднене значення), мінімальний розмір комірки – 1 піксель.

#### 2.2.7.4 Визначення похибки методу визначення фрактальних характеристик

Відносна похибка методу вимірювання обчислюється за формулою:

$$\delta = \frac{x_{ict} - x_{вим}}{x_{ict}} \cdot 100\% , \quad (6)$$

де  $x_{ict}$  – істинне значення характеристики;

$x_{вим}$  – значення, отримане при вимірюванні.

Для визначення похибки методу обчислення фрактальних характеристик, обумовлену якістю зображень, програму було протестовано на .bmp зображеннях фракталів з відомими розмірністю та лакунарністю: сніжинці Коха (фрактальна розмірність  $\sim 1,26$ ) і фрактал Віксека [63] (лакунарність для четвертої ітерації – 0,39 [62]) (рис. 2.4)

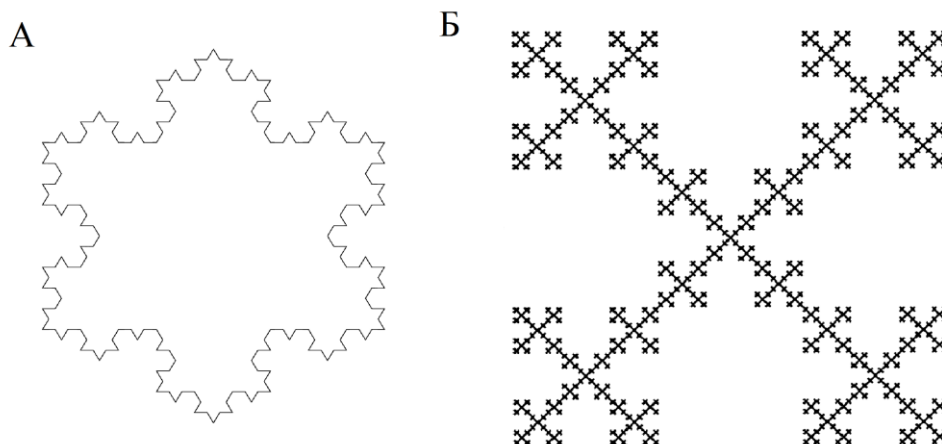


Рисунок 2.4 – Зображення фракталів, використані для визначення похибки обчислень. А – сніжинка Коха; Б – фрактал Віксека

За результатами аналізу зображень за допомогою FracLac було отримано наступні дані:

- фрактальна розмірність сніжинки Коха – 1,23;
- лакуарність фракталу Віксека – 0,403.

Обчислимо відносну похибку методу розрахунків фрактальної розмірності:

$$\delta_D = \frac{1,26 - 1,23}{1,26} \cdot 100 \% = 2,4\% .$$

Для лакуарності відносна похибка обчислення за допомогою програми FracLac складає:

$$\delta_D = \frac{|0,39 - 0,403|}{0,39} \cdot 100 \% = 3,3\% .$$

Отже, при подальшій оцінці результатів необхідно враховувати відповідні похибки методу обчислення фрактальних характеристик.




## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

### 3.1 Результати пошуку гомологічних послідовностей

З метою доведення потенційної можливості синтезу БМН рослинами томату звичайного, було виконано попарне вирівнювання амінокислотних послідовностей ключових білків біомінералізації БМН *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 з протеомом *S. lycopersicum*.

Результати BLAST-пошуку гомологів білків МО МТБ (MamA, MamB, MamM, MamE, MamO, MamK) у протеомі томату звичайного приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вирівнювання білків МО *M. gryphiswaldense* MSR-1 та амінокислотних послідовностей томату *S. lycopersicum*

Назва рослини	Повнота геному	Е-число					
		I (%)					
		Query cover (%)					
		Білки <i>Magnetospirillum gryphiswaldense</i> MSR-1					
		MamA	MamB	MamM	MamO	MamE	MamK
Томат звичайний ( <i>Solanum lycopersicum</i> )		7e-05	3e-30	8e-27	5e-07	5e-22	0.003
		28.15	27.06	29.97	24.57	36.70	21.94
		60	93	84	26	22	55

Отримані результати також дозволяють визначити тип БМН, що синтезуються. Як відомо з праці [64], формування внутрішньоклітинних кристалічних магнітних наночастинок належить до багатостадійних процесів і контролюється комплексом білків. За відсутності певних білків формування

БМН стає або принципово неможливим, або наночастинки синтезуються не повністю/позаклітинно. Синтезовані БМН було класифіковано залежно від наявності тих чи інших білків біомінералізації. Таким чином, за допомогою таблиці 3.2 можна визначити тип БМН, що потенційно синтезуються рослинами *S. lycopersicum*.

Таблиця 3.2 – Класифікація БМН за формою і локалізацією відносно клітини на основі наявності білків/гомологів МО МТБ [64]

Білки МО МТБ/гомологи білків МО	Зовнішньо- клітинні аморфні БМН	Зовнішньо- клітинні кристалічні БМН	Внутрішньо- клітинні аморфні БМН	Внутрішньо- клітинні кристалічні БМН
MamA	—	+	—	+
MamB	+	+	+	+
MamM	+	+	+	+
MamO	—	—	+	+
MamE	—	—	+	+
MamK	—	—	+	+

За результатами вирівнювання можна встановити потенційну можливість томату синтезувати внутрішньоклітинні кристалічні БМН, оскільки в його протеомі наявні гомологи найважливіших білків біомінералізації.

### 3.2 Результати пророщування насіння томату звичайного

Відсоток пророслого насіння та довжина коренів паростків томату були визначені на 4-й день з моменту посіву. Результати наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Результати пророщування насіння томату, обробленого розчинами з різною концентрацією магнетиту

№ з/п	Концентрація наночастинок магнетиту (мг/мл)	Схожість насіння (%)	Середня довжина коренів $\pm$ SE (мм)
1	0 (контроль)	70	11,14 $\pm$ 1,08
2	0,1	76,7	15,47 $\pm$ 2,01
3	1	70	17,67 $\pm$ 1,69

Отримані результати дають підставу вважати, що підвищення концентрації магнітних наночастинок позитивно впливає на ріст коренів паростків томату. Так, насіння, оброблене 0,1 мг/мл розчином магнетиту, на 4-й день сформувало корені, що на 39% перевищують за довжиною корені контролю, в той час як для насіння, обробленого 1 мг/мл магнетиту цей показник становить 58%. Однак найкращий результат за відсотком проростання показало насіння, інкубоване з додаванням 0,1 мг/мл магнетиту (76,7% проти 70%). Тому для більш точного визначення оптимального дозування магнітної рідини доцільним є проведення повторних експериментів.

Результати даного експерименту узгоджуються з даними, отриманими іншими вченими при дослідженні впливу магнітних наночастинок на насіння *S. lycopersicum* [35]. Крім того, дослідження на інших рослинах з використанням магнітних наночастинок або магнітного поля [65, 66] також демонструють позитивний ефект магнітних взаємодій на проростання насіння. Поясненням цих явищ може бути підсилення обмінних процесів, в яких приймають участь БМН (наприклад, везикулярного транспорту) при взаємодії насіння з екзогенними магнітними частинками або під впливом магнітного поля.

### 3.3 Визначення біомаси і вмісту води у рослинах

На 82-й день вегетації оцінювали показники біомаси *S. lycopersicum*. Результати дослідження впливу МН на масу та вміст води в зелених частинах томату наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати визначення біомаси та вмісту води у рослинах, вирощених з додаванням магнетиту

№ з/п	Концентрація наночастинок магнетиту (мг/мл)	Біомаса до висушування $\pm \Delta$ (г)	Біомаса після висушування $\pm \Delta$ (г)	Відносний вміст води в біомасі (%)
1	0 (контроль)	$23,53 \pm 0,12$	$2,51 \pm 0,1$	89,3
2	0,1	$24,27 \pm 0,23$	$2,75 \pm 0,07$	88,65
3	1	$26,61 \pm 0,14$	$2,711 \pm 0,13$	89,81

Відповідно до отриманих даних, додавання до субстрату магнетиту у концентрації 0,1 і 1 мг/мл майже не впливає на біомасу зеленої частини рослин. Оскільки відносний вміст води в біомасі не змінюється у дослідних груп порівняно з контролем, можна припустити, що магнітні частинки не блокували провідні тканини і не порушили всисну функцію коренів.

### 3.4 Вплив магнетиту на врожайність *S. lycopersicum*

Оцінку впливу магнетиту на розвиток плодів і врожайність проводили, порівнюючи швидкість формування генеративних органів (квіток і плодів), та аналізуючи отриманий врожай.

Результати дослідження динаміки появи квіток на дослідних і експериментальних рослинах наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Зміна кількості квіток на рослинах, вирощених з додаванням різних концентрацій магнетиту

Доба спостереження	Загальна кількість квіток і бутонів (шт)		
	0 мг/мл	0,1 мг/мл	1 мг/мл
75	0	1	3
78	2	5	8
81	7	17	13
84	20	39	28
87	38	67	45
90	53	88	61
93	74	120	80

Отримані дані для наочності візуалізовано у вигляді гістограми (рис. 3.1).

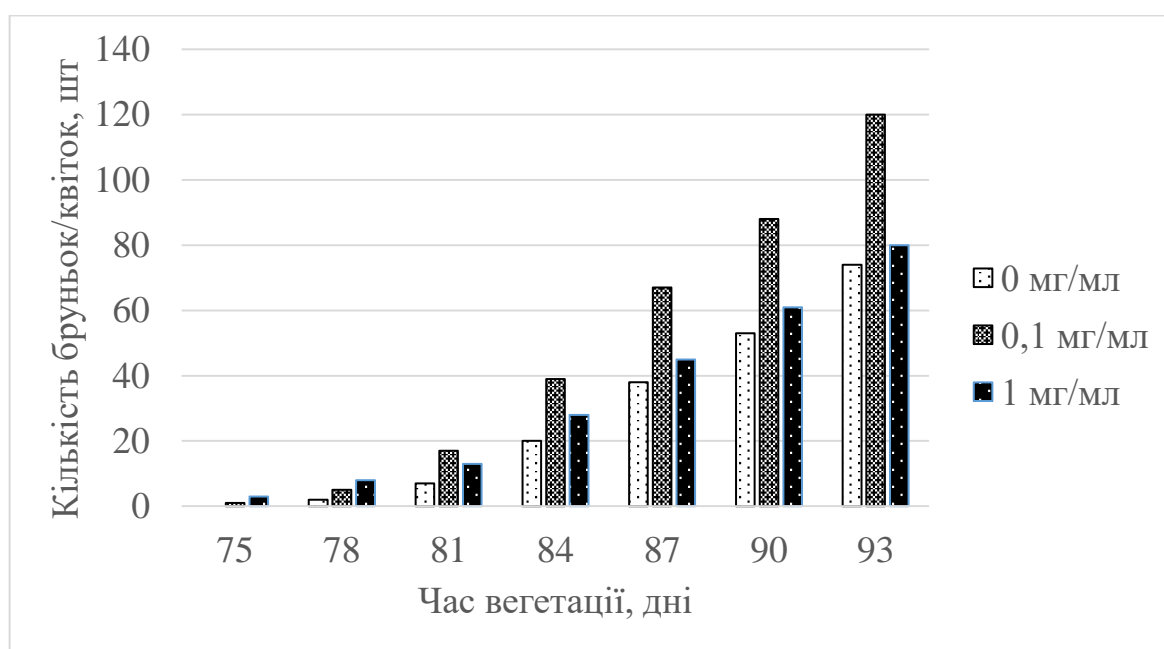


Рисунок 3.1 – Зміна кількості квіток/бутонів на рослинах, вирощених з додаванням різних концентрацій магнетиту

Аналогічне спостереження було проведено з метою фіксування динаміки утворення плодів томату (табл. 3.6, рис. 3.2).

Таблиця 3.6 – Зміна кількості плодів на рослинах, вирощених з додаванням різних концентрацій магнетиту

Доба спостереження	Загальна кількість плодів (шт)		
	0 мг/мл	0,1 мг/мл	1 мг/мл
88	0	2	3
95	1	5	8
102	7	12	13
109	7	23	18
116	9	24	19
130	15	26	20

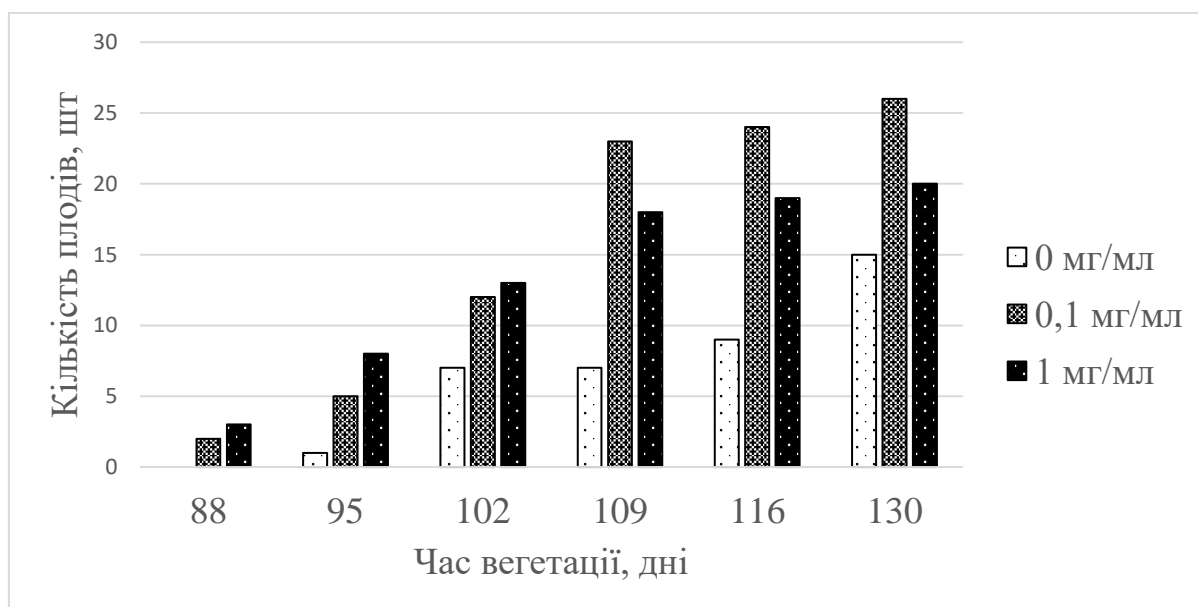


Рисунок 3.2 - Зміна кількості плодів на рослинах, вирощених з додаванням різних концентрацій магнетиту

Продемонстрована швидкість утворення квіток і плодів на рослинах *S. lycopersicum*, вирощених на субстраті з додаванням різних концентрацій магнітної рідини, свідчить про позитивний вплив магнітних наночастинок. Найвищі темпи формування генеративних органів спостерігаються у рослин, що поливались розчином з концентрацією магнетиту 0,1 мг/мл.

На 130 добу вегетації було проведено збір плодів і визначено основні характеристики отриманого врожаю (табл. 3.7, рис. 3.3).

Таблиця 3.7 - Результати зважування плодів томату на 130 добу вегетації

№ з/п	Концентрація наночастинок магнетиту (мг/мл)	Загальна кількість плодів (шт)	Загальна маса плодів $\pm \Delta$ (г)	Середня маса плоду $\pm SE$ (г)
1	0 (контроль)	15	204,49 $\pm$ 0,93	13,63 $\pm$ 2,39
2	0,1	26	285,37 $\pm$ 1,1	10,98 $\pm$ 0,9
3	1	20	349,47 $\pm$ 0,98	17,47 $\pm$ 1,35

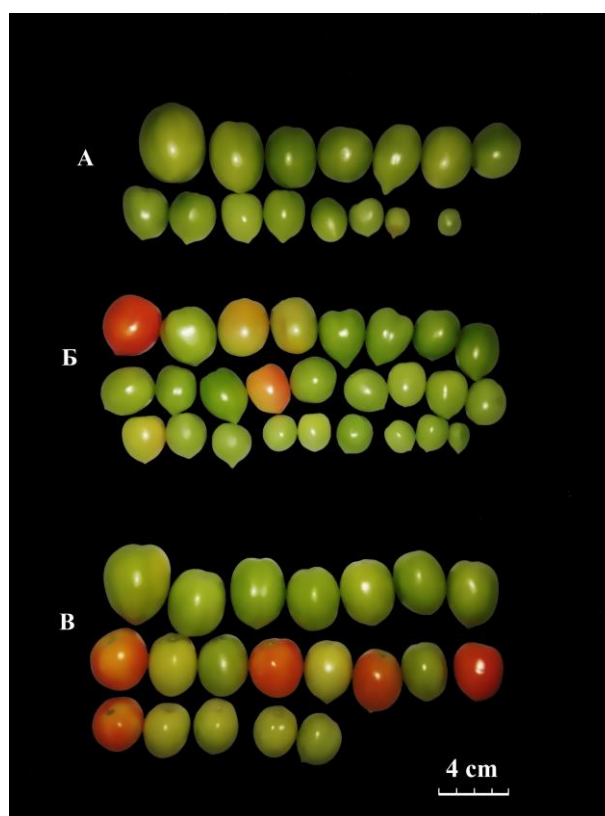


Рисунок 3.3 - Морфологія плодів томату *S. lycopersicum*, зібраних з рослин, що вирощувались з додаванням різних концентрацій магнетиту: А – контроль; Б – 0,1 мг/мл; В – 1 мг/мл

Отже, спостерігається збільшення сумарної біомаси плодів томату:

- у вирощених на середовищі з додаванням 0,1 мг/мл магнетиту – на 39,5%.
- у вирощених на середовищі з додаванням 1 мг/мл магнетиту – на 70,9%.

Крім того, у експериментальних рослин також пришвидшилися процеси дозрівання плодів. Станом на 130-й день, у груп, які двічі на тиждень поливали 0,1 та 1 мг/мл розчину МН, спостерігається почервоніння 2-х і 5-ти плодів, відповідно.

Однак, незважаючи на більшу кількість квіток і плодів у рослин, культивованих на субстраті з додаванням 0,1 мг/мл магнетиту, середня маса окремих плодів даної групи поступається плодам як контрольної, так і експериментальної групи, вирощеної з додаванням 1 мг/мл магнетиту. Можна запропонувати декілька пояснень даної розбіжності:

1. Внесок магнітних наночастинок у формування плодів є різним на різних етапах. Так, на стадії утворення бутонів і квіток, потреба в нанорозмірному магнетиті є помірною, тому його надлишок може пригнічувати рослину (порівняно з меншими концентраціями). При формуванні і дозріванні плодів роль магнітних частинок зростає у зв'язку з їх потенційною участю в процесах везикулярного транспорту (наприклад, при біосинтезі лікопіну).
2. Оптимальною для *S. lycopersicum* є концентрація 0,1 мг/мл. Однак збільшення кількості квіток і зав'язі зіграло негативну роль у загальній врожайності. У лабораторних умовах рослинам не вистачило поживних речовин для формування великої кількості плодів, що і вплинуло на їх розмір. В той же час рослини, що сформували меншу кількість ягід, мали більше ресурсів для збільшення їх маси.



Таким чином, було встановлено, що магнітні наночастинки істотно впливають на утворення квіток і плодів, але для кращого розуміння механізму їх дії доцільним є проведення аналогічних експериментів в інших умовах (наприклад, у відкритому ґрунті або гідрокультурі).

### 3.5 Результати аналізу морфології коренів *S. lycopersicum*

В даному експерименті було проаналізовано 3 групи коренів рослин *S. lycopersicum*, по 4 рослини на кожну групу (контроль, 0,1 мг/мл магнетиту та 1 мг/мл магнетиту). Оброблені зображення, що використовувались для обчислень фрактальної розмірності і лакуарності, наведені на рисунку 3.4.

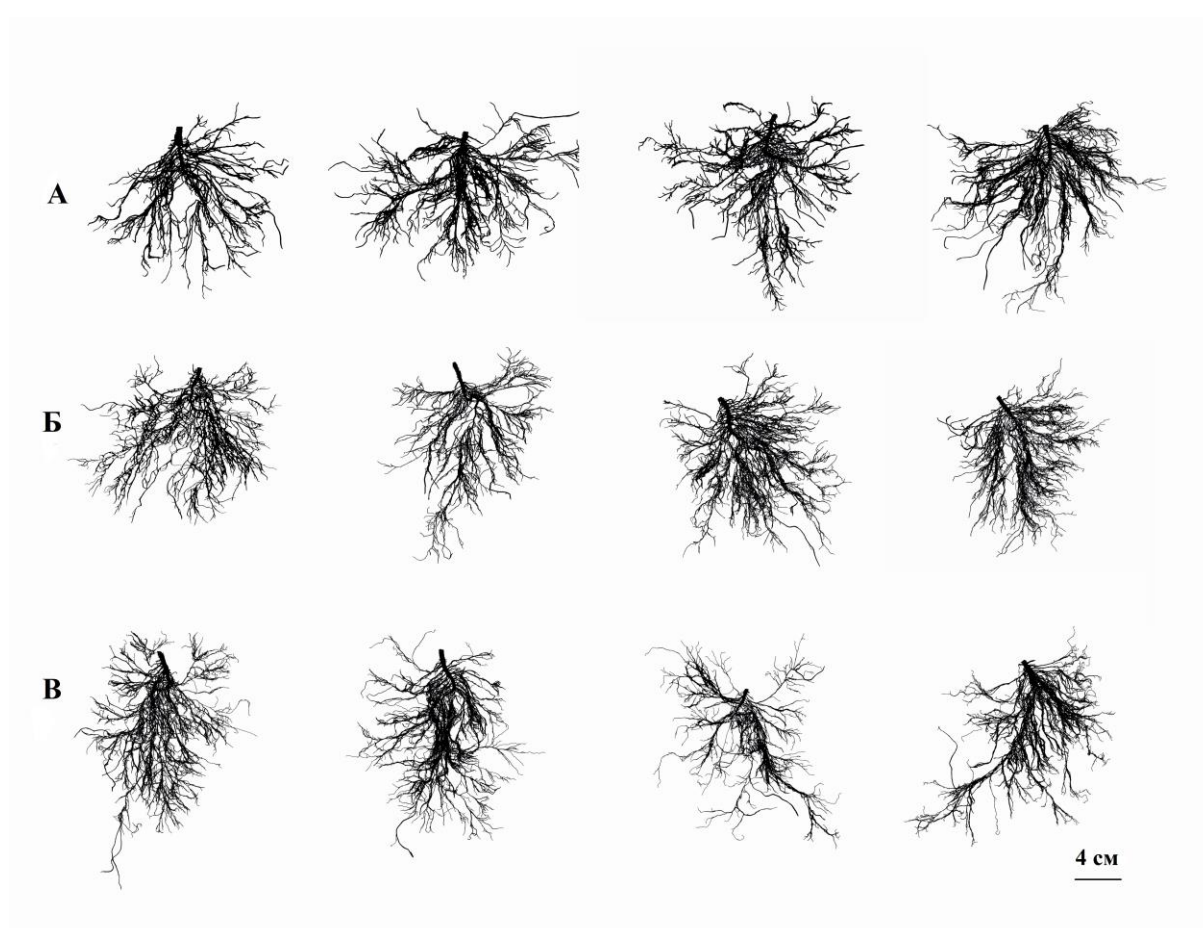


Рисунок 3.4 – Зображення коренів рослин *S. lycopersicum*, вирощених на середовищі з додаванням різних концентрацій магнетиту. А – контроль; Б – 0,1 мг/мл; В – 1 мг/мл

За візуальною оцінкою корені експериментальних томатів виглядають більш розгалуженими і тонкими, ніж корені контрольних рослин.

Результати обчислення фрактальних характеристик в програмі FracLac та підрахунку чорних пікселів наведено в таблиці 3.8

Таблиця 3.8 – Результати фрактального аналізу коренів *S. lycopersicum*

№ з/п	Концентрація наночастинок магнетиту (мг/мл)	Середня фрактальна розмірність, $D$	Середня лакуарність, $\Lambda$	Середня кількість пікселів $\times 10^6$
1	0 (контроль)	$1,651 \pm 0,003$	$1,066 \pm 0,049$	$1,23 \pm 0,067$
2	0,1	$1,656 \pm 0,007$	$1,099 \pm 0,048$	$1,01 \pm 0,059$
3	1	$1,636 \pm 0,014$	$1,345 \pm 0,068$	$0,95 \pm 0,064$

Проведений аналіз демонструє, що фрактальна розмірність кореневих систем контрольної і експериментальної груп майже не змінюється. Максимальна різниця становить 1,2%, що не виходить за межі похибки методу вимірювання. В той же час, лакуарність групи, вирощеної на субстраті з додаванням 1 мг/мл магнетиту, збільшується на 26% порівняно з контролем. Це свідчить про більшу неоднорідність у структурі кореневої системи експериментальних рослин, наявність більшої кількості порожнин різних розмірів між окремими коренями та їх скупченнями. Аналіз кількості чорних пікселів на зображенні також вказує на поступове стоншення кореневої системи зі збільшенням концентрації магнетиту.

Отже, при додаванні магнетиту впродовж вирощування *S. lycopersicum*, у рослин спостерігаються незначні зміни морфології кореневих систем, а саме підвищення неоднорідності структури та потоншення коренів. Фрактальна розмірність контрольних та експериментальних рослин не змінюється. Таким чином, вплив магнітних наночастинок на розвиток коренів томату

звичайного є несуттєвим. Порівняно з такими рослинами, як горох посівний *Pisum sativum* [2], морфологія кореневої системи томату залишається переважно сталою при додаванні до субстрату магнітних наночастинок у концентраціях 0,1 і 1 мг/мл. Ця особливість корелює з відсутністю змін у зеленій біомасі рослин. Імовірно, краще розвинуті провідні тканини *S. lycopersicum* (відносно великий діаметр ситоподібних отворів, висока швидкість потоку рідини у флоемі та ксилемі) нівелюють пригнічуючий вплив магнітних наночастинок, принаймні у концентраціях до 1 мг/мл.

## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 4.1 Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності

Бізнес ідея: розробка наностимулятора на основі магнітних наночастинок для підвищення врожайності плодових овочевих культур.

Мета наукової розробки: створення нового ефективного засобу для підкореневого підживлення рослин, з ціллю скорочення строків дозрівання і збільшення врожайності плодових культур (помідорів, баклажанів і т.д.)

Назва розробки: «Наностимулятор БіоМагнет+».

Суб'єкт замовлення: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

Об'єкт дослідження: наночастинок оксиду заліза (II, III).

Місце розробки в інноваційному ланцюжку цінності: проект знаходиться на етапі розробки: проведено лабораторні випробування, розроблено технологію виробництва наностимулятора.

Продукт наукової розробки: наностимулятор для збільшення врожайності та скорочення строків дозрівання плодів овочевих культур.

Технологія: синтез магнетиту за методом хімічної ко-преципітації, стабілізація наночастинок біосумісними ПАВ.

Доступність сировинної бази: матеріали та реактиви закуповуються в Україні через компанії поставників хімічного обладнання та реагентів (ООО «ХИМЛАБОРРЕАКТИВ»).

Кваліфікація персоналу: У технологічному процесі задіяні висококваліфіковані спеціалісти (хіміки, біотехнологи)

Ринок збуту: оптові постачальники добрив засобів по догляду за рослинами, роздрібна торгівля добривами, аграрні компанії.

Модель підприємництва: B2B.

Детальне резюме стартап-проекту наведено у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Резюме стартап-проекту

Показник	Характеристика
1. Сутність ідеї	Розробка наностимулятора на основі магнітних наночастинок для підвищення врожайності плодових овочевих культур.
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	Аналог – мікродобриво для листової обробки томату «5 елемент» виробництва ООО «НПП «5 ЭЛЕМЕНТ»
3. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Задовольняє потребу у ефективних екологічних добривах/стимуляторах для значного (до 70%) збільшення врожайності овочевих культур
4. Ступінь розробленості технології реалізації	Завершено лабораторні випробування, розроблено технологію виготовлення наностимулятора.
5. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією товарів	010271 «Добрива»
6. КВЕД, до якого може належати дане виробництво	20.20 «Виробництво пестицидів та іншої агрохімічної продукції» 72.11 «Дослідження й експериментальні розробки в галузі біотехнологій» 46.75 «Оптова торгівля хімічними продуктами»
7. Очікувана потужність стартапу	мале підприємство
8. За масштабом виробництва	масове
9. За рівнем спеціалізації	вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	працемістке, матеріаломістке,
11. За чисельністю персоналу	мале

Продовження табл. 4.1

12. Органи управління при реалізації стартапу	національні
13. Бажане географічне розташування - потужностей стартапу; - офісу стартапу; - збутової мережі; - постачальників комплектуючих.	1) с. Дмитрівка, Київська обл. 2) с. Дмитрівка, Київська обл. 3) Україна 4) Україна
14. Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	Етап розробки
15. Гранична корисність ідеї стартапу	Відсутність негативного впливу на навколишнє середовище порівняно з традиційними препаратами.
16. Бізнес-модель стартапу	B2B
17. Конкуренти вітчизняні (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться, основні конкурентні переваги, фактори успіху)	Мікродобрива «5 елемент» виробництва ООО «НПП «5 ЭЛЕМЕНТ», Україна. Ціна – 20 грн/уп (10 г). Реалізується споживачу, нетоксичний та екологічний засіб.
18. Конкуренти іноземні (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться, основні конкурентні переваги, фактори успіху)	Нанодобриво «Nanofer» виробництва компанії Geolife, Індія. Знаходиться на етапі реалізації споживачу, містить комплекс мікроелементів. Відсутнє на ринку України. Ціна упаковки (50 г) – 218 рупій (77 грн)
19. Ключові фактори успіху стартапу	Ефективність, зручність, безпечність.
20. Планова кількість продукту розробки для першого етапу реалізації	360 000 од.

Продовження табл. 4.1

21. Мінімальна кількість виробництва за методом точки беззбитковості	973 567 од.
22. Споживачі на етапі розвитку	Українські аграрні компанії, оптові постачальники добрив, роздрібна торгівля добривами.
23. Споживачі на етапі зрілості	Міжнародні постачальники добрив.
24. Конкурентна ціна на продукт стартапу	25 грн/од.
25. Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	35%
26. Капіталовкладення в проект	6 901 190 грн
27. Період повернення капіталовкладень у проект	3 роки
28. Джерела фінансування	Власні та запозичені
30. Основні компоненти продукції стартапу (їх доля у готовому товарі, ступінь готовності компонентів у наявному виробництві)	Магнітні наночастинки – 65 % Олеат натрію– 5 % Вода – 30%. Продукція повністю готова.
31. Потенційні постачальники складових компонентів розробки (виділити вітчизняних і закордонних, плановий обсяг замовлень, наявна потужність постачальника)	Постачальник обладнання для лабораторій і сировини: «ХИМЛАБОРРЕАКТИВ», Україна. Пакувальні матеріали - ТОВ «Новопласт».

Продовження табл. 4.1

32. Планове місце реалізації результату розробки (місце, планова доля реалізації продукту через це місце)	Оренда приміщення для виробничого комплексу у с. Дмитрівці Київської області.
3. Наявність посередників при реалізації (так, ні, орієнтовні посередники, форми оплати їх діяльності)	Ні.
34. Методи просування результатів розробки на ринок	Реклама в спеціалізованих ЗМІ; участь у виставках; організація освітньо-наукових заходів, конференцій; розміщення детальної інформації на сайті компанії-виробника, ведення сторінок у соцмережах.

#### 4.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартап-проекту. Ключові фактори успіху

Середовище діяльності будь-якого підприємства можна охарактеризувати за допомогою наступної схеми, зображеної на рис. 4.1.



Рис. 4.1 – Зовнішнє, зовнішнє оперативне та внутрішнє середовище підприємства [67].



Зовнішнє середовище безпосередньо не впливає на підприємство, але формує загрози і можливості цього підприємства. Потенційні загрози та можливості зовнішнього середовища наведені у таблиці 4.2

У табл. 4.2 представлено оцінку потенційних загроз і можливостей зовнішнього середовища підприємства з виготовлення наностимулятора для підвищення врожайності рослин.

Таблиця 4.2 – Аналіз загроз і можливостей зовнішнього середовища

Загрози	Можливості
Політика	
1. Напруження політичних відносин з іншими країнами; 2. Зміни в законодавстві щодо вимог до рослинних добрив.	1. Співпраця із закордонними агрономічними компаніями. 2. Пошук закордонних інвесторів.
Економіка	
1. Інфляція; 2. Підвищення цін на сировину та обладнання; 3. Економічна криза у зв'язку с пандемією.	1. Стабільний розвиток агрономічної галузі; 2. Збільшення попиту на продукти сільського господарства;
Географія	
1. Логістичні перешкоди (велика відстань до баз сировини).	1. Наявність великої кількості точок збуту продукції
Демографія	
1. Трудова міграція населення за кордон. 2. Зменшення кількості спеціалістів у зв'язку зі скороченням держзамовлення у ВНЗ.	1. Зростання кількості споживачів.

Продовження табл. 4.2

Культура	
1. Підозріле відношення населення до ефективності препаратів на основі нанотехнологій.	1. Використання засобів культурного просвітництва для ознайомлення людей з ефективністю впровадження наукових розробок в сільське господарство.
Науково – технічний прогрес	
1. Винайдення нових ефективних засобів виробниками-конкурентами.	1. Можливість вдосконалювати технологію виробництва. 2. Проведення досліджень для винайдення більш ефективних стимуляторів.

До факторів зовнішнього оперативного середовища відносять конкурентів, постачальників, посередників (передбачається, що послуги посередників не будуть використовуватись, принаймні на початкових етапах реалізації), споживачів, що продемонстровано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Оцінка факторів зовнішнього оперативного середовища

Переваги	Недоліки
Постачальники	
1. Наявність постачальників сировини і обладнання в Україні.	1. Затримки у поставках сировини і обладнання. 2. Імовірність пошкодження сировини при транспортуванні.
Конкуренти	
1. Принцип дії препаратів-аналогів конкурентів відрізняється (наностимулятор не володіє магнітними властивостями), що зменшує його ефективність.	1. Конкурент вже давно постачає продукцію і заслугував довіру споживачів.

Продовження таблиці 4.3

Споживачі	
1. Наявність великої кількості точок збуту (роздрібна торгівля, агрокомпанії, оптова торгівля).	1. Недовіра споживачів до нового препарату. 2. Консервативність споживачів при виборі добрив для рослин.

За результатами аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було сформовано перелік зацікавлених сторін (табл. 4.4)

Таблиця 4.4 – Аналіз зацікавлених сторін

Зацікавлена сторона	Вплив її на реалізацію проекту	Цікавість її до проекту	Загальний коефіцієнт впливу на проект
Суб'єкти зовнішнього оперативного середовища			
Конкурент	Може негативно впливати, переманоючи споживачів за рахунок піару власних виробів, негативної реклами в ЗМІ.	Зацікавлений відсутності проекту або низьких показників продажу.	0,1
Постачальник	Собівартість продукції буде залежати від цін, встановлених постачальником	Зацікавлений у розвитку виробництва та підвищенні його купівельної спроможності.	0,2

Продовження табл. 4.4

Споживачі	Купівельна спроможність споживачів безпосередньо впливає на обсяги продажу продукції.	Зацікавлені у високій якості продукції та низькій ціні.	0,2
Суб'єкти зовнішнього середовища			
Суб'єкти економічного середовища	Економічні показники, такі як курс валют, умови кредитування, інтенсивність інвестування коштів, купівельна спроможність споживачів та ін. впливають на стабільність та ефективність продажів.	Зацікавлені у розвитку українського виробника агрономічних препаратів, що надасть додаткове надходження коштів у держбюджет.	0,2
Суб'єкти географії	Розташування постачальників сировини і точок збуту буде впливати на особливості транспортування продукції і, відповідно, на собівартість	Не є зацікавленими.	0,05

Продовження табл. 4.4

Суб'єкти демографії	Зменшення кількості населення унаслідок трудової міграції та зниження народжуваності можуть призводити до нестачі спеціалістів на робочих місцях, а також зменшенню попиту на продукцію	Зацікавлені у підвищенні врожайності і смакових якостей овочевих культур (якщо вирощують їх самі), а також у зниженні цін на продукти харчування (овочі).	0,1
Суб'єкти культурного середовища	Поширення певної інформації у ЗМІ може чинити як позитивний, так і негативний вплив на продаж продукції.	Зацікавлені у появі нових сенсаційних технологій та/або у сталому розвитку.	0,1
Суб'єкти НТП	Підвищення якості освіти та розробка нових технологій сприятиме розвитку виробництва.	Зацікавлені у розвитку виробництва, як місця працевлаштування спеціалістів та впровадження нових наукових розробок.	0,1

Також було проведено аналіз внутрішнього середовища, що забезпечує визначення сильних та слабких сторін в процесі реалізації стартап-проєкту (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Переваги і недоліки внутрішнього середовища

Складові внутрішнього середовища	Переваги	Недоліки
Реклама	Організація освітньо-наукових заходів, конференцій; розміщення детальної інформації на сайті компанії-виробника; створення і ведення сторінок у соц-мережах	Високі витрати на забезпечення конкурентоздатності у порівнянні із великими компаніями виробниками добрив.
Фінанси	Достатні фінансові ресурси, що забезпечуються кредитом у банку.	Обмежений потік зовнішніх інвестицій.
Виробництво	Сучасне обладнання забезпечуватиме високу якість та потужність виробництва.	Необхідність облаштування виробництва «з нуля».
Персонал	Високий рівень підготовки спеціалістів у сфері хімічного виробництва.	Недостатній досвід персоналу в виготовленні магнітних наночастинок.
Організація управління	Залучення до роботи підприємства спеціалістів з бізнес планування та маркетингів.	Невелика чисельність адміністративного персоналу на етапі розвитку.

### 4.3. Визначення ключових факторів успіху проекту

На підставі аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було визначено ключові фактори успіху технології. Ключові фактори успіху – ті, на які підприємство може самостійно впливати під час виробництва і реалізації продукту. Ключові фактори успіху надано у вигляді діаграми Шонфільда (табл. 4.6, рис. 4.2). Оцінка показника якості нашого продукту (Наностимулятор «БіоМагнет+») і продукту конкурента відбувалась за 5-ти бальною шкалою. Коефіцієнт значущості показника для замовника лежав у межах  $0 \dots 1$ .

Таблиця 4.6 – Оцінка характеристик продукції за методом Шонфільда.

Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Оцінка показника за 5-бальною шкалою	
		Наностимулятор «БіоМагнет+»	Стимулятор «5 ЕЛЕМЕНТ»
Ціна	0,15	5	5
Ефективність готового продукту	0,4	5	4
Безпечність	0,25	4	3,5
Екологічність	0,2	5	5

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначили бальну оцінку кожної характеристики для нашої продукції і продукції конкурента (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Бальна оцінка характеристик за методом Шонфільда

Характеристика	Бальна оцінка характеристик	
	Наностимулятор «БіоМагнет+»	Стимулятор «5 ЕЛЕМЕНТ»
Ціна	$0,15 \cdot 5 = 0,75$	$0,15 \cdot 5 = 0,75$
Ефективність	$0,4 \cdot 5 = 2$	$0,4 \cdot 4 = 1,6$
Безпечність	$0,25 \cdot 4 = 1$	$0,25 \cdot 3,5 = 0,875$
Екологічність	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 5 = 1$

На підставі отриманих бальних оцінок побудовано графік порівняння характеристик наностимулятора «БіоМагнет+» з конкурентом (рис.4.2).

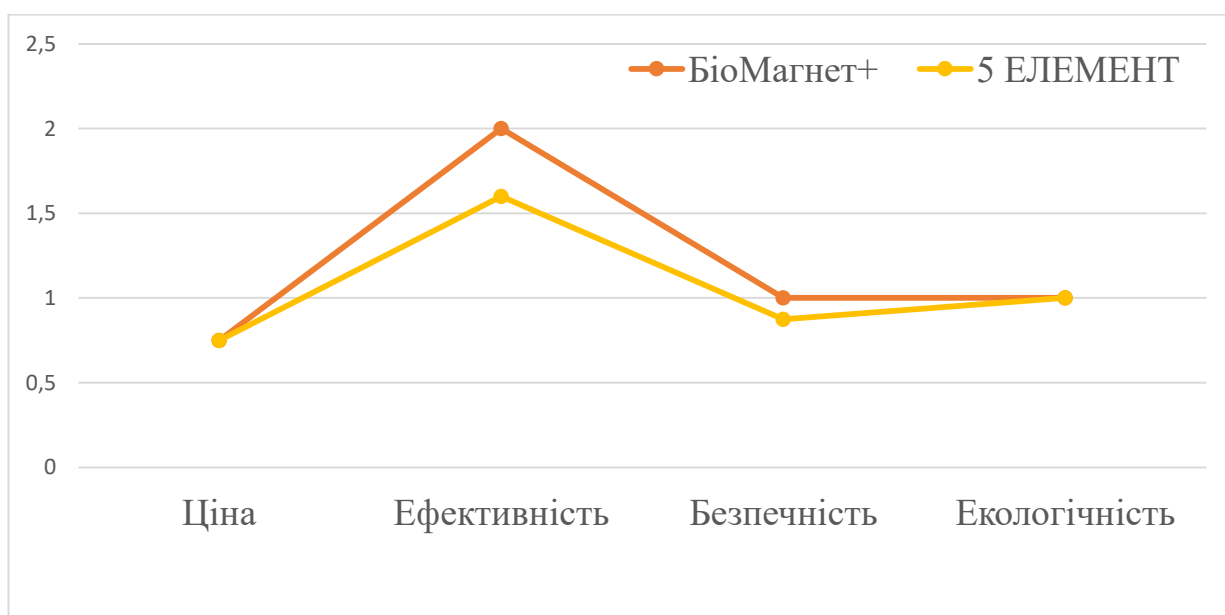


Рис. 4.2 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентом

На основі аналізу ключових факторів успіху стартап-проекту визначалися можливі варіанти розвитку інноваційної ідеї (табл. 3.8).



Таблиця 4.8 – Варіанти розвитку ідеї стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
Продаж технології на етапі розробки іншим компаніям	Продаж технології як більш ефектвної
Встановлення ціни на продукцію нижчої за ціну конкурента	Приваблення споживачів на початкових етапах завдяки продажу більш ефективного та безпечного продукту за звичною ціною
Популяризація новітніх нанотехнологій у сільському господарстві	Створення посібників, журналів, блогів, що висвітлюють різні аспекти використання нанопрепаратів у садівництві.

#### 4.4. Визначення потенційних споживачів

Оскільки компанія проводитиме як оптову, так і роздрібну торгівлю, в якості споживачів розглядалися юридичні та фізичні особи (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Класифікація потенційних споживачів

Критерій	Значення
Юридична особа	
1. Форма власності	Державні та приватні
2. КВЕД	01.13 Вирощування овочів і баштанних культур, коренеплодів і бульбоплодів 01.61 Допоміжна діяльність у рослинництві 46.75 Оптова торгівля хімічними продуктами 47.76 Роздрібна торгівля квітами, рослинами, насінням, добривами, домашніми тваринами та кормами для них у спеціалізованих магазинах

Продовження табл. 4.9

3. За потужністю	малі, середні, великі
4. За масштабом виробництва	одиничні, серійні, масові
5. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільні, багатoproфільні
6. За ресурсами, що споживаються	Працемістки, матеріаломістки
7. За чисельністю персоналу	Малі, середні, великі
8. За сферою діяльності	Сільське господарство Оптова та роздрібна торгівля
9. За приналежністю капіталу і контролю	Національні, іноземні
9. За приналежністю капіталу і контролю	національні, іноземні, спільні багатонаціональні
10. За географічним розташуванням	Україна, інші країни
11. За віддаленістю органів управління	Національні, іноземні, транснаціональні
12. За характером господарської діяльності	сільськогосподарські, торгові
13. За рівнем технологічної цілісності	Провідні, дочірні, філії
14. За долею іноземного капіталу	Без іноземних інвестицій, з іноземними інвестиціями, іноземні
15. За формуванням статутного капіталу	Унітарні, корпоративні
16. За організацією виробничих процесів	періодичні, безперервні
17. За роботою протягом року	Сезонні, позасезонні
18. За географічним розташуванням на території України	Великі міста, обласні та регіональні центри

Продовження табл. 4.9

19. За динамікою розвитку регіону розташування юридичної особи: – Регіон – Чисельність населення – Динаміка росту регіону	У столиці, обласних та регіональних центрах Від 800 тис осіб Приріст населення 1,5-3% щорічно згідно загального українського законодавства
Фізична особа	
1. Вік	18 – 100 років
2. За платоспроможністю	Платоспроможні, середній дохід
3. За соціальним рівнем споживачів	Володіють нерухомістю або земельною ділянкою, рівень зарплати нижче середнього, середній, високий
4. За способом життя (звички, традиції, стереотипи поведінки)	Самотні люди і подружні пари будь-якого віку. Осілий спосіб життя. Прихильники здорового способу життя, вегетаріанці, дрібні фермери, садівники-любители, екологічно свідомі люди.
5. Тип особистості споживачів	Реалісти, новатори, традиціоналісти
6. За ставленням до товару	Мотивація покупки товару – отримання кращих врожаїв, турбота про навколишнє середовище. Добра інформованість про товар.
7. За сімейними цінностями	Як самотні так і одружені люди, будь-який склад сім'ї
8. За співвідношенням бажання придбати і цінової межі	4000 грн – 25 грн 7500 грн – 25 грн
9. За інтенсивністю споживання товару	Періодичне придбання, систематичне придбання
10. За інформованістю	Самоосвіта, ЗМІ, спеціалізовані джерела

Огляд основних груп потенційних споживачів та їх потреб наведено у табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Основні групи потенційних споживачів і їх потреби

Категорія (група) клієнтів	Потреби, які він задовольняє за допомогою нашого продукту
Аграрні компанії	Потреби у ефективному стимуляторі підвищення врожайності і скорочення термінів дозрівання овочевих культур
Оптові постачальники	Потреби у новому продукті з попитом на ринку для продажу
Фізичні особи	Потреби у недорогому, ефективному, зручному і безпечному стимуляторі врожайності овочів

Визначені відомості щодо груп споживачів та їх потреб, було використано для формування паспорту потенційного клієнта (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Паспорт потенційного клієнта – аграрної компанії

Характеристика	Значення
Організаційно-правова форма	Державна організація, приватна організація
Чисельність персоналу	25 – 10000 осіб
Розташування	Місто, смт, село
Вид продукту, який потрібен даному споживачеві	Стимулятор врожайності плодових овочевих культур
Призначення придбаного товару	Використання за призначенням.

Продовження табл. 4.11

Кваліфікація персоналу підприємства	Низькокваліфікований (робочі), кваліфікований (робочі, службовці), та висококваліфікований (керівники) персонал
Потенційний обсяг споживання продукції	100 – 20 000 од./ місяць
Хто приймає рішення про придбання розробки	Начальник відділу організації та забезпечення закупівель.

Проведено планування обсягу реалізації продукції у початковому періоді – на перший рік виробництва (табл. 4.12). При цьому враховується потенційне збільшення попиту у сезон вирощування рослин (з березня по серпень включно)

Таблиця 4.12 – Запланований обсяг реалізації стартап-продукту за перший рік виробництва.

Період	Запланований обсяг, од.
Січень 2021	10 000
Лютий 2021	25 000
Березень 2021	30 000
Квітень 2021	40 000
Травень 2021	50 000
Червень 2021	50 000
Липень 2021	55 000
Серпень 2021	40 000
Вересень 2021	20 000
Жовтень 2021	10 000
Листопад 2021	10 000
Грудень 2021	10 000
Всього:	350 000

## 4.5 Ціна інноваційної пропозиції на ринку

Визначення потенційного споживача і його особливостей при прийнятті рішення про придбання стартап-продукту дозволило визначити проектну ціну пропозиції для технології (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 - Проектні ціни продажу технології

Найменування товару	Планові обсяги продажу		Аналоги, прототипи	
	Кількість, од.	Ціна, грн/од.	Кількість, од.	Ціна, грн/од.
Наностимулятор «БіоМагнет+»	350 000	25	500 000	30

Для розрахунків ціноутворення обрано витратний метод, що ґрунтується на врахуванні витрат. Розглянемо метод повних витрат. Ціна розраховується, виходячи із суми постійних і змінних витрат на одиницю продукції й запланованого прибутку з урахуванням нижньої межі ціни.

$$Ц = С + П, \quad (7)$$

де Ц – ціна одиниці товару, грн;

С – собівартість одиниці товару, грн;

П – величина прибутку, яку бажає отримати підприємство від реалізації одиниці товару, грн.

### 4.5.1 Основні фонди підприємства

До основних фондів підприємства належать будівлі та споруди, обладнання, транспорт, виробничий та господарський нематеріальні активи.

Вартість основних фондів приведена в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Вартість основних фондів

№	Найменування	Кількість, шт	Вартість, грн	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, грн
1	Приміщення	1	200 000	20	40 000
2	Реактор - змішувач, 40 л	1	28 000	20	5 600
3	Випаровувач вакуумний	1	30 000	20	6 000
4	Магнітний сепаратор	1	70 000	20	14 000
5	Центрифуга промислова	1	100 000	20	20 000
4	Аквадистилятор лабораторний	1	40 800	20	8 160
6	Фасувально – пакувальна установка DXDY-1000BNII	1	75 000	20	15 000
	Загальна вартість		543 800		108 760

Очікуваний термін корисного використання біотехнологічного обладнання – 5 років.

Річна норма амортизації =  $100 \% : 5 \text{ р.} = 20 \%$

Щоквартальна норма амортизації =  $20 \% : 4 = 5 \%$

#### 4.5.2. Оборотні фонди підприємства

Таблиця 4.15 – Забезпеченість проекту оборотними фондами

Група ОБФ	Назва	Норма ви- трат на рік	Ціна, грн/од	Ціна, грн/рік
Сировина і матеріали	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	780	4.50 грн/кг	3 510
	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1030	135 грн/кг	139 050
	Розчин аміаку	2 000 л	22 грн/л	44 000
	Олеат натрію	10 кг	167 грн/кг	1 670
Паливо, електрое- нергія	Паливо	1000 л	20 грн/л	20 000
	Електроенергія (освітлення та електро-облад- нання)	230 000 кВт	2,83 грн/кВт · год	650 900
	Водопоста- чання	300 м <sup>3</sup>	25,4 м <sup>3</sup>	7 620
Пакування	Упаковка	350 000	5 грн	1 750 000
Охорона	Договір охо- рони	-	1 000 грн/міс	12 000
Реклама	-	-	10 000 грн/міс	120 000
Оренда	Договір оренди приміщення	-	25 000 грн/міс	300 000
ФОП	Трудові ресу- рси (табл. 18)	-	-	3 308 640
Всього				6 357 390



Таблиця 4.16 – Забезпеченість проекту трудовими ресурсами

Категорія кадрів	Назва посади	Чисельність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати	
				За місяць	За рік
Робочі основні	Апаратник	2	Середня спеціальна освіта	24 000	288 000
Робочі допоміжні	Вантажник, водій	3	-	30 000	360 000
	Прибиральник	2	-	18 000	216 000
Спеціалісти	Економіст	1	Вища освіта	15 000	180 000
	Маркетолог	1	Вища освіта	15 000	180 000
	Бухгалтер	1	Вища освіта	15 000	180 000
Молодший науковий персонал	Інженер контролю якості	1	Вища освіта	15 000	180 000
Молодший науковий персонал	Хімік - лаборант	2	Середня спеціальна освіта	24 000	288 000
Старший науковий персонал	Хімік - дослідник	1	Вища освіта	25 000	300 000
Керівники	Директор	1	-	20 000	240 000
	Головний технолог	1	Вища освіта	25 000	300 000

## Продовження табл. 4.16

Всього	226 000	2 712 000
Соц. відрахування до Пенсійного фонду (22 %)	49 720	596 640
ФОП	275 720	3 308 640

**4.5.3 Розрахунок капіталовкладень і собівартості виробництва**

Капіталовкладення становлять:  $K = OF + Об.З.$ ;

$$K = 543\,800 + 6\,357\,390 = 6\,901\,190 \text{ (грн/рік)}.$$

Визначимо собівартість виробництва:

$$C = A + Об.З = 108\,760 + 6\,357\,390 = 6\,466\,150 \text{ (грн/рік)}$$

Продукція випускається у пластикових флаконах 100 мл, плановий випуск продукції 350 000 од/рік.

Собівартість на одиницю продукції:

$$C/B = 6\,466\,150 / 350\,000 = 18,47 \text{ (грн/од)}.$$

В таблиці 4.17 приведено обґрунтування собівартості товару

Таблиця 4.17 – Обґрунтування собівартості товару, грн.

Статті витрат	Витрати (грн.)	
	на одиницю	на рік
Амортизаційні витрати	0,31	108 760
Оборотні засоби	18,164	6 357 390
Собівартість	18,474	6 466 150

Приблизна ціна одиниці продукції становить 25 грн/од.

Прибуток:  $\Pi = Ц - C.$

$$\Pi = 25 \times 350\,000 - 6\,466\,150 = 2\,283\,850 \text{ (грн/рік)};$$

Прибуток на одиницю продукції =  $2\,283\,850 / 350\,000 = 6,5$  (грн/од).

Отже, за витратним методом прогнозована ціна продукту становитиме:

$$\Pi = C + \Pi = 18,47 + 6,5 = 25 \text{ грн/од.}$$

Рентабельність:  $P = \Pi/C \times 100\%$ ;

$$P = 2\,283\,850 / 6\,466\,150 \times 100\% = 35,32 \%$$

Період повернення капіталовкладень:  $T_{нов} = K/\Pi$ ;

$$T_{нов} = 6\,901\,190 / 2\,283\,850 = 3 \text{ (роки).}$$

Фондовіддача виробничих фондів:  $\Phi B = (\Pi \times B)/O\Phi$ ;

$$\Phi B = (25 \times 350\,000) / 543\,800 = 16 \text{ (грн/грн).}$$

Фондоємність:  $\Phi \epsilon = 1/\Phi B$ ;

$$\Phi \epsilon = 1/16 = 0,0625 \text{ (грн/грн).}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:  $E = \Pi/K$ ;

$$E = 2\,283\,850 / 6\,901\,190 = 0,33 \text{ грн/грн.}$$

Для перевірки достатності обсягу випуску продукції для формування ефективного прибутку використано метод точки беззбитковості:

$$Q = FC/(P - AVC)$$

$$Q = 6\,357\,390 / (25 - 18,47) = 973\,567 \text{ од.}$$

Розрахунки показують, що точка беззбитковості досягається після випуску 973 567 од. продукції. Оскільки на рік планований випуск продукції – 350 000 на рік, слід вважати, що точка беззбитковості досягається після, приблизно, трьох років виробництва.

Для планування залучення коштів розглянуто можливі джерела фінансування стартапу (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 – Джерела фінансування для підприємства.

Запозичені	Власні
1) Бюджетні інвестиції, у т. ч.: - державний бюджет; - місцеві бюджети; - гранти.	1) вкладення витрат на удосконалення у собівартість продукції; 2) збільшення собівартості нової продукції на вартість науково- дослідних і дослідно-конструкторських робіт
2) кредити фінансових установ; 3) інші кошти, у т.ч.: - кошти інвесторів - кошти громадських організацій.	3) формування на підприємстві виробництва, фонду розвитку науки і техніки шляхом відрахувань чітко обумовленого відсотку з доходу або прибутку підприємства протягом всього періоду функціонування; 4) амортизаційний фонд підприємства. 5) гранти

Заключний етап оцінки вартісних показників стартап-проекту закінчувався в аналізі його за техніко-економічними показниками (табл. 4.19)

Таблиця 4.19 – Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниця виміру	Значення
1. Річний обсяг реалізації ідеї, технології, методики	одиниці	350 000
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	осіб	16
3. у тому числі - основних - інженерно-технічного персоналу	осіб	7 9
4. Середньорічний виробіток робітника	од/особу	21 875
5. Капіталовкладення у проект: - всього - на одиницю продукції	грн. грн/од	6 901 190 18,16

Продовження табл. 4.19

6. Повна собівартість - всього - на одиницю продукції	грн. грн/од	6 466 150 18,47
7. Відносний прибуток - всього - на одиницю продукції	грн. грн/од	2 283 850 6,5
8. Рентабельність	%	35,3
9. Період повернення капіталовкладень	років	2,78
10. Фондовіддача виробничих фондів	грн/грн	16
11. Фондоємкість	грн/грн	0,0625
12. Продуктивність праці	грн/особу	142 740,6
13. Коефіцієнт економічної ефективності		0,33

#### 4.6 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту

Таблиця 4.20 – Карта бізнес-процесів виконання стартап-проекту

Стадія реалізації стартап-проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу, год	Верхня межа фінансових витрат, грн
Розробка ідеї стартапу	Створення ідеї	Людські, фінансові	10	-
	Формування команди		100	-
	Аналіз ринку		20	15 000
	Проектування виробництва		110	20 000
	Створення прототипу		120	30 000
	Розробка бізнес-плану		135	12 000

Продовження табл. 4.20

Реалізація ідеї стартапу	Реєстрація суб'єкта господарчої діяльності	Людські, фінансові	60	3 000
	Реєстрація тор- гової марки		70	1 000
	Отримання до- зволу на побу- дову виробництва		110	2 000
	Укладення договору з бан- ком		60	1 000
	Укладення договору про намір з мере- жею збуту		45	2 000
	Укладення договору про намір з постав- никами сировини та обладнання		45	2 000

Продовження табл. 4.20

Впровадження у виробництво	Запуск договорів	Людські, фінансові, матеріальні	45	1 000
	Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення		460	100 000
	Купівля обладнання та сировини			
			100	550 000
	Проведення наладчувальних робіт		70	30 000
	Сертифікація продукції та виробництва		90	3 000
Масова реалізація	Проведення рекламної кампанії	Людські, фінансові	300	200 000
	Підготовка документації для участі у тендерних закупівлях		80	2 500
Всього:			2030	971 500

На основі карти бізнес-процесів виконання стартап-проекту, було проведено розподіл функцій між відповідальними за їх реалізацію працівниками та визначено кадрові потреби стартап-проекту на кожному із етапів (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 – Системний аналіз бізнес-процесів стартапу

Функції	Елементи			
	Розробник	Провідні спеціалісти	Виробничий персонал	Спеціалісти з контролю якості
Розробка ідеї	+	-	-	-
Формування команди	+	+	-	-
Аналіз ринку	+	+	-	-
Проектування виробництва	+	+	-	-
Розробка бізнес-плану	+	+	-	-
Реєстрація суб'єкта господарчої діяльності	+	+	-	-
Реєстрація торгової марки	+	+	-	-
Отримання дозволу на побудову виробництва	-	+	-	-



Продовження табл. 4.21

Укладення договору з банком	-	+	-	-
Укладення договору з мережею збуту	-	+	-	-
Укладення договору з постачальниками сировини та обладнання	-	+	-	-
Запуск договорів	-	+	-	-
Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення	-	-	+	-
Проведення налаштувальних робіт	-	-	+	+
Виготовлення першої партії продукції	-	-	+	+
Сертифікація продукції та виробництва	-	+	-	+
Проведення рекламної кампанії	-	+	-	-

Продовження табл. 4.21

Підготовка документації для участі у тендерних закупівлях	-	+	-	+
---	---	---	---	---

#### 4.7 Ризики стартап – проекту та методи управління ними

Сформовано перелік зовнішніх і внутрішніх ризиків, що можуть загрожувати підприємству.

Результати системного аналізу ризиків бізнес-процесу наведено у табл. 4.22.

Таблиця 4.22 – Ризики інноваційної розробки

Назва процесу / стадії реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка ідеї стартапу	Розробка бізнес-плану	-	Помилки у розробці
	Формування команди	Нестача спеціалістів	Імовірність найняти непрофесійних робітників

Продовження табл. 4.22

Реалізація ідеї	Отримання дозволу на побудову виробництва	-	Відмова у дозволі
	Заклучення договору з банком	Несприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Укладення договору на не вигідних умовах
	Заклучення договору про намір з поставниками сировини та обладнання	Здорожчання сировини та обладнання	Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання
Впровадження у виробництво	Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення	Підвищення цін на матеріали і роботу з ремонту	Неякісне виконання ремонтних робіт
	Виготовлення першої партії продукції	-	Збої у роботі обладнання, помилки робітників
Масова реалізація	Проведення рекламної компанії	Перешкоди конкурентів	Неефективне рекламування продукції

Для кожного з ризиків оцінювалася імовірність настання та вплив на очікуваний результат (табл.4.23).

Таблиця 4.23 – Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання

Види ризиків	Назва ризику	Ймовірність настання	Вплив на очікуваний результат
Зовнішні ризики			
Демографічний Ризик	Нестача спеціалістів внаслідок трудової міграції	Середня	Високий
Політико-законодавчий ризик	Відмова у дозволі на будівництво	Низька	Високий
Макроекономічний ризик	Несприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Висока	Високий
	Підвищення цін на матеріали і роботу з ремонту	Середня	Середня
	Підвищення цін на ремонтні роботи	Середня	Високий
Внутрішні ризики			
Управлінський ризик	Невірне планування бізнес-процесів	Низька	Високий
	Призначення на посади непрофесійних працівників	Низька	Середній

Продовження табл. 4.23

Ризик зниження фінансових показників	Укладення договору на не вигідних умовах	Низька	Високий
Організаційний ризик	Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання	Низька	Високий
Техніко-технологічний ризик	Неякісне виконання ремонтних робіт	Низька	Середній
	Збої у роботі обладнання	Середня	Середній
Ризик зниження фінансових показників	Неефективне рекламування продукції	Середня	Середній

Результати оцінювання всіх ризиків за критеріями настання та впливом на очікуваний результат наведено у матриці оцінки ризиків (табл. 4.24).

Таблиця 4.24 – Матриця оцінки ризиків

За впливом ризиків на очікуваний результат		За ймовірністю настання ризиків		
Критерій ризику	Числове значення	Низька ймовірність	Середня ймовірність	Висока ймовірність
		1	2	3
Високий рівень впливу	3	1) Відмова у дозволі на будівництво 2) Укладення договору з банком на невідгідних умовах 3) Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання	1) Нестача спеціалістів внаслідок трудової міграції 2) Підвищення цін на роботи по ремонту 3) Неякісне виконання ремонтних робіт	1) Несприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств
Середній рівень впливу	2	1) Невірне планування бізнес-процесів 2) Призначення на посади непрофесійних працівників	1) Подорожчання сировини та обладнання 2) Неєфективне рекламування продукції 3) Збої у роботі обладнання	
Низький рівень впливу	1			

Для усіх визначених ризиків розроблено план з управління ними (табл. 4.25).

Таблиця 4.25 – План заходів з управління ризиками

Назва ризику	Назва методу управління ризиком	Відповідальні виконавці	Період виконання / застосування методу	Очікувані результати від впровадження методів управління
Нестача спеціалістів внаслідок трудової міграції	Прийняття ризику	Директор	На усіх стадіях	Активний пошук спеціалістів, створення вигідних умов праці
Відмова у дозволі на будівництво	Попередження ризику	Директор	Стадія реалізації ідеї стартапу	Моніторинг правового середовища
Несприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Прийняття ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Самострахування за рахунок резервних коштів

Продовження табл. 4.25

Подорож- чання сирो- вини та обла- днання	Прийняття ризиків	Економіст	Стадії впро- вадження у виробництво та масової реалізації	Покриття збитку з поточного до- ходу
Підвищення цін на ремон- тні роботи	Прийняття ризиків	Економіст	Стадія впро- вадження у виробництво	Залучення дода- ткових інвести- цій для віднов- лення роботи
Невірне пла- нування біз- нес-процесів	Попере- дження ри- зику	Директор	На усіх ста- діях	Моніторинг еко- номічного сере- довища, залучення спеціалістів з бізнес-плану- вання
Призначення на посади не- професійних працівників	Попере- дження ри- зику	Директор	На усіх ста- діях	Детальне ви- вчення інформації, тес- тування знань та навичок праців- ників
Заклучення договору з банком на не- вигідних умовах	Ухилення від ризику	Економіст	Стадія реалі- зації ідеї стартапу	Відмова від прийняття ризикованих проектів, рішень



Продовження табл. 4.25

Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання	Прийняття ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Самострахування за рахунок резервних коштів
Неякісне виконання ремонтних робіт	Ухилення від ризику	Спеціаліст з якості	Стадія впровадження у виробництво	Відмова від ненадійних партнерів та постачальників
Збої у роботі обладнання	Передача ризику	Інженер апаратного обслуговування	Стадії впровадження у виробництво та масової реалізації	Отримання гарантій на роботу обладнання від виробників
Неефективне рекламування продукції	Передача ризику	Маркетолог	Стадія масової реалізації	Аутсорсинг ризику

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено можливість синтезу рослинами томату внутрішнь-оклітинних кристалічних БМН за допомогою методів порівняльної геноміки;

2. Визначено, що довжина коренів проростків *S. Lycopersicum* є найбільшою (перевищує контроль на 58%) при додаванні 1 мг/мл магнетиту.

4. Встановлено, що за концентрації МН 1 мг/мл урожайність томату збільшується на 70%, за 0,1 мг/мл – на 40% порівняно з контролем. Крім того, спостерігається прискорення формування квіток та плодів і збільшення їх кількості, особливо у рослин, вирощених на субстраті з додаванням 0,1 мг/мл магнетиту

4. Методами фрактального аналізу досліджено морфологічні зміни у коренях рослин, вирощених на субстраті з додаванням різних концентрацій магнетиту. При однаковій фрактальній розмірності, лакунарність у рослин, що вирощувались з додаванням 1 мг/мл магнетиту є на 26% більшою, ніж у контрольних рослин, що свідчить про зменшення товщини коренів та неоднорідність архітектури кореневої системи.

5. За результатами роботи розроблено стартап-проект по виробництву наностимулятора для підвищення врожайності овочевих культур.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gorobets O. Yu. Biogenic Magnetic Nanoparticles: biomineralization in prokaryotes and eukaryotes / O. Yu. Gorobets, S. V. Gorobets, Yu. I. Gorobets // Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology: 3rd ed. – New York: CRC Press, 2014. – P. 300–308.
2. Gorobets S. Biogenic magnetic nanoparticles in plants / S. Gorobets, O. Gorobets, A. Magerman et al. // arXiv:1901.07212.
3. Phirke P. S., Kubde A. B., Umbarkar S. P. (1996). The influence of magnetic field on plant growth. Seed Sci. Technol. 24, 375–392.
4. Maffei M. E. Magnetic Field Effects on Plant Growth, Development, and Evolution / M. E. Maffei // Frontiers in Plant Science. – 2014. – Vol. 5: 445.
5. Rui M. Iron Oxide Nanoparticles as a Potential Iron Fertilizer for Peanut (*Arachis Hypogaea*) / M. Rui, C. Ma, Y. Hao et al. // Frontiers in Plant Science. – 2016. – Vol. 7: 815.
6. Kuznetsov O. A. Intracellular magnetophoresis of amyloplasts and induction of root curvature / O. A. Kuznetsov, K. H. Hasenstein // Planta. – 1996. – Vol. 198. – P. 87 – 94.
7. Yano A. Induction of primary root curvature in radish seedlings in a static magnetic field / A. Yano, E. Hidaka, K. Fujiwara et al. // Bioelectromagnetics. – 2001. – Vol. 22(3). – P. 194 – 199.
8. Ghafariyan M. H. Effects of Magnetite Nanoparticles on Soybean Chlorophyll / M. H. Ghafariyan, M. J. Malakouti, M. R. Dadpour et al. // Environmental Science & Technology. – 2013. – Vol. 47 (18). – P. 10645 – 10652.
9. Delfani M. Some Physiological Responses of Black-Eyed Pea to Iron and Magnesium Nanofertilizers / M. Delfani, M. Baradarn

Firouzabadi, N. Farrokhi et al. // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2014. – Vol. 45 (4).

10. Das A. K. Bio-Reductive Synthesis and Characterization of Plant Protein Coated Magnetite Nanoparticles / A. K. Das, A. Marwal, R. Verma // Nano Hybrids. – 2014. – Vol. 7. – P. 69 – 86.

11. Botsa S. A Facile Plant Mediated Synthesis of Magnetite Nanoparticles Using Aqueous Leaf Extract of *Ficus hispida* L. for Adsorption of Organic Dye / S. Botsa, V. R. Adari, B. Lavakusa // IOSR Journal of Applied Chemistry. – 2017. – Vol. 10 (7).

12. Gorobets O. Physiological origin of biogenic magnetic nanoparticles in health and disease: from bacteria to humans / O. Gorobets, S. Gorobets, M. Koralewski // International Journal of Nanomedicine. – 2017. – Vol. 12. – P. 4371 – 4395.

13. Schubbe S. Transcriptional Organization and Regulation of Magnetosome Operons in *Magnetospirillum gryphiswaldense* / S. Schubbe, C. Wurdemann, J. Peplies et al. // Applied and Environmental Microbiology. – 2006. – Vol. 72 (9). – P. 5757 – 5765.

14. Caicedo A. Basic Information about Tomatoes and the Tomato Group / A. Caicedo, I. Peralta // Genetics, Genomics, and Breeding of Tomato. – Enfield: Taylor & Francis Inc, 2013. – P. 1–27.

15. USDA, NRCS. 2020. The PLANTS Database (<http://plants.usda.gov>, 1 May 2020). National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA.

16. Hobson G. E. Tomato / G. E. Hobson, D. Grierson // Biochemistry of Fruit Ripening. – London: Chapman and Hall, 1993. – pp. 405 – 442.

17. Peralta I. E. Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* Sect. *Lycopersicoides*, Sect *Juglandifolia*, Sect *Lycopersicon*; *Solanaceae*) / I. E. Peralta, D. M. Spooner, S. Knapp // Systematic Botany Monographs. – 2008. – Vol. 84. – P. 183.

18. Wikström S. Evolution of the angiosperms: calibrating the family tree / S. Wikström, V. Savolainen, M. W. Chase // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2001. – Vol. 268. – P. 2211 – 2220.
19. Nesbitt T. S. Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*: Implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes / T. S. Nesbitt, S. D. Tanksley // Genetics. – 2002. – Vol. 162. – P. 365 – 379.
20. Zuriaga E. Genetic and bioclimatic variation in *Solanum pimpinellifolium* / E. Zuriaga, J. M. Blanca, L. Cordero et al. // Genetic Resources and Crop Evolution. – 2009. – Vol. 56 (1). – P. 39 – 49.
21. Rick C. M. Biosystematic studies in *Lycopersicon* and closely related species of *Solanum*. In: J. G. Hawkes, R. N. Lester and A. D. Skelding [eds]. The biology and taxonomy of *Solanaceae*. Academic Press, New York, 1979. – pp 667–677.
22. Tomato Genome Consortium. The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution / Tomato Genome Consortium // Nature. – 2012. – Vol. 485. – P. 635 - 641.
23. Van de Hoeven R. Deductions about the number, organization, and evolution of genes in the tomato genome based on analysis of a large expressed sequence tag collection and selective genomic sequencing / R. Van der Hoeven, C. Ronning, J. Giovannoni et al. // Plant Cell. – 2002. – Vol. 14. – P. 1441 – 1456.
24. Kimura S. Tomato (*Solanum lycopersicum*): A Model Fruit-Bearing Crop / S. Kimura, N. Sinha // Cold Spring Harbor Protocols. – 2008. – Vol. 11.
25. De Swaef T. Tomato sap flow, stem and fruit growth in relation to water availability in rockwool growing medium / T. De Swaef, K. Verbist, W. Cornelis et al. // Plant and Soil. – 2011. – Vol. 350. – P. 237 – 252.

26. Mullendore D. L. Sieve Tube Geometry in Relation to Phloem Flow / D. L. Mullendore, C. W. Windt, H. V. As et al. // Plant Cell. – 2010. – Vol. 22 (3). – P. 579 – 593.
27. Bussi res P. Estimating the number and size of phloem sieve plate pores using longitudinal views and geometric reconstruction / P. Bussi res // Scientific Reports. – 2014. – Vol. 4.
28. Windt C. W. MRI of long-distance water transport: a comparison of the phloem and xylem flow characteristics and dynamics in poplar, castor bean, tomato and tobacco / C. W. Windt, F. J. Vergeldt, P. A. Jager et al. // Plant, Cell and Environment. – 2006. – Vol. 29 (9). – P. 1715 – 1729.
29. Pyke K. A. Plastid and stromule morphogenesis in tomato / K. A. Pyke, C. A. Howells // Annals of Botany. – 2002. – Vol. 90 (5). – P. 559 – 566. doi: 10.1093/aob/mcf235.
30. Gerszberg A. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology / A. Gerszberg, K. Hnatuszko-Konka, T. Kowalczyk et al. // Plant Cell Tissue and Organ Culture. – 2014. – Vol. 120. – P. 881–902.
31. Scott J. W. Classical Genetics and Traditional Breeding / J. W. Scott, J. R. Myers, P. S. Boches et al. // Genetics, Genomics, and Breeding of Tomato. – Enfield: Taylor & Francis Inc, 2013. – P. 38 – 68.
32. Sabatini E. Molecular Breeding / E. Sabatini, M. Beretta, T. Sala et al. // Genetics, Genomics, and Breeding of Tomato. – Enfield: Taylor & Francis Inc, 2013. – P. 229 – 287.
33. Arie T. Tomato as a model plant for plant-pathogen interactions / T. Arie, S. Takahashi, M. Kodama et al. // Plant Biotechnology. – 2007. – Vol. 24 (1).
34. Boe A. Effects of Magnetic Fields on Tomato Ripening / A. Boe, D. K. Salunkhe // Nature. – 1963. – Vol. 199. – P. 91 – 92.

35. Kalikeri S. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (Tomato) plant growth and their biomineralization / S. Kalikeri, Y. Shiralgi, S. B. Manchanahally et al. // Applied Nanoscience. – 2015. – Vol. 6 (7). – P. 1 – 7.
36. Pavani T. Synthesis and characterization of  $\gamma$ -ferric oxide nanoparticles and their effect on *Solanum lycopersicum* / T. Pavani, K. Venkateswara Rao, Ch. Shilpa Chakra et al. // Pollution control technologies and alternate energy options. – 2016. – Vol. 23. – P. 9373 – 9380.
37. Martínez-Fernández D. Comparative effects of nanoscale zero-valent iron (nZVI) and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on root hydraulic conductivity of *Solanum lycopersicum* L. / D. Martínez-Fernández, M. Komárek // Environmental and Experimental Botany. – 2016. – Vol. 131. – P. 128 – 136.
38. Zadeh R. R. Response of tomato plants to interaction effects of magnetic (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles and cadmium stress / R. R. Zadeh, S. M. Javad Arvin, R. Jamei et al. // Journal of Plant Interactions. – 2019. – Vol. 14 (1). – P. 474 – 481.
39. National Center for Biotechnology Information [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>. – Заголовок з екрану.
40. Li W. Saturated BLAST: an automated multiple intermediate sequence search used to detect distant homology / Li W., Pio F., Pawłowski K., Godzik A. // Bioinformatics. – 2000. – V. 16. – № 12. – P. 1105 – 1110.
41. McGinnis S. BLAST: at the core of a powerful and diverse set of sequence analysis tools / S. McGinnis, T. L. Madden // Nucleic Acids Research. – 2004. – Vol. 32: W20–W25.

42. Kerfeld C. A. Using BLAST to Teach “E-value-tionary” Concepts / C. A. Kerfeld, K. M. Scott // PLoS Biology. – 2011. – Vol. 9 (2). – e1001014.
43. Горобець С.В. Біосепарація. Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт для студентів / С.В. Горобець, Л.В. Маринченко, І.В. Дем'яненко, Ю.В. Карпенко, 2014. – 99 с.
44. Schwarz D. Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment / D. Schwarz, A. Thompson, H.-P. Kläring // Front Plant Sci. – 2014. – 5:625.
45. Peterson R. H. Tomato Flowering and Early Yield Response to Heat Buildup under Rowcovers / R. H. Peterson, H. G. Taber // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 1991. – Vol. 116 (2). – P. 206 – 209.
46. Dar R. A. Genetic Variability Studies of Yield and Quality Traits in Tomato (*Solanum lycopersicum L.*) / R. A. Dar, J. P. Sharma // International Journal of Plant Breeding and Genetics. – 2011. – Vol. 5 (2). – P.168 – 174.
47. Wang H. Physiological effects of magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles on perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) and pumpkin (*Cucurbita mixta*) plants / H. Wang, X. Kou, Z. Pei et al. // Nanotoxicology. – 2011. – Vol. 5 (1). – P. 30 – 42.
48. Richner W. Root Image Analysis and Interpretation / W. Richner, M. Liedgens, H. Bürgi et al. // Root Methods. – Berlin: Springer, 2000. – P. 305 – 341.
49. Schneider C. A. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis / C. A. Schneider, Rasband W. S., Eliceiri K. W. // Nature Methods. – 2012. – Vol. 9 (7). – P. 671 – 675.
50. Tachibana Y. Root surface area, as a parameter in relation to water and nutrient uptake by cucumber plant / Y. Tachibana, Y. Ohta // Soil Science and Plant Nutrition. – 2012. – Vol. 29 (3). – P. 387 – 392.



51. Fitter A. H. The topology and geometry of plant root systems: Influence of watering rate on root system topology in *Trifolium pretense* / A. H. Fitter // *Annals of Botany*. – 1986. – Vol. 58. – P. 91 – 101.
52. Tatsumi J. Fractal Analysis of Plant Root Systems / J. Tatsumi, A. Yamauchi, Y. Kono // *Annals of Botany*. – 1989. – Vol. 64 (5). – P. 499 – 503.
53. Dannowski M. Fractal geometry and root system structures of heterogeneous plant communities / M. Dannowski, A. Block // *Plant and Soil*. – 2005. – Vol. 272. – P. 61 – 76.
54. Mandelbrot B. B. The Fractal geometry of nature / B. B. Mandelbrot. – W H Freeman: New York, 1983.
55. Walk T. C. Modelling applicability of fractal analysis to efficiency of soil exploration by roots / T. C. Walk, E. Van Erp, J. P. Lynch // *Annals of Botany*. – 2004. – Vol. 94. – P. 119 – 128.
56. So G.-B. Enhancement of the Box-Counting Algorithm for fractal dimension estimation / G.-B. So, H.-R. So, G.-G. Jin // *Pattern Recognition Letters*. – 2017. – Vol. 98. – P. 53 – 58.
57. Plotnick R. Lacunarity indices as measures of landscape texture / R. Plotnick, R. Gardner, R. O’neill // *Landscape Ecology*. – 1993. – Vol. 8. – P. 201 – 211.
58. Smith T. G. Fractal methods and results in cellular morphology – dimensions, lacunarity and multifractals / T. G. Smith, G. D. Lange, W. B. Marks // *Journal of Neuroscience Methods*. – 1996. – Vol. 69. – P. 123 – 136.
59. Karperien A. L. Fractal, multifractal, and lacunarity analysis of microglia in tissue engineering / A. L. Kerperien, H. F. Jelinek // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2015. – Vol. 3:51.
60. Muchtar M. Fractal Dimension and Lacunarity Combination for Plant Leaf Classification / M. Muchtar, N. Suciati, C. Fatichah //

Journal of Computer Science and Information. – 2016. – Vol. 9 (2). – P. 96 – 105.

61. Karperien A. L. Defining Microglial Morphology; Form, Function, and Fractal Dimension / A. L. Karperien. – Australia: Charles Sturt University, 2004.

62. Karperien, A., FracLac for ImageJ. <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/fractal/FLHelp/Introduction.htm>. 1999-2013.

63. Vicsek T. Fractal models for diffusion controlled aggregation / T. Vicsek // Journal of Physics A: Mathematical and General. – 1983. – Vol. 16 (17).

64. Gorobets O.Yu. Biomineralization and synthesis of biogenic magnetic nanoparticles and magnetosensitive inclusions in microorganisms and fungi/ O.Yu. Gorobets, S.V. Gorobets, L. V. Sorokina // Functional Mater. – 2014. – №21(4). – P. 427–436.

65. Matwiczuk A. Effect of magnetic field on seed germination and seedling growth of sunflower / A. Matwiczuk, K. Kornarzyński, S. Pietruszewski // International Agrophysics. – 2012. – Vol. 26 (3). – P. 271 – 278.

66. Duran N. M. Bean Seedling Growth Enhancement Using Magnetite Nanoparticles / N. M. Duran, M. Medina-Llamas, J. G. B. Casanji et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2018. – Vol. 66 (23). – P. 5746 – 5755.

67. Економічна частина магістерської дисертації: розроблення стартап-проекту: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / О.А. Підлісна, Ю.В. Тюленєва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 32 с.